



PROYECTO FIN DE CARRERA

Perspectiva actual de la tecnología del coche eléctrico. Análisis de los cambios en los procesos de producción con la llegada del vehículo eléctrico.

Departamento de Ingeniería Mecánica,
Energética y de Materiales

Universidad Pública de Navarra

Alumno: Miguel Roig Estrada

Tutores: Christina Berg (Volkswagen AG)
José Sancho Rodríguez (UPNA)

Pamplona, 22 de febrero de 2012

“La tecnología de los motores de combustión interna lleva desarrollándose más de 80 años. En menos de cinco años, la tecnología del coche eléctrico ya ofrece las mismas prestaciones que un modelo convencional de gasolina. Imagínese lo que nos ofrecerá mañana.”

Carlos Ghosn, presidente del grupo Nissan-Renault

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a todo el departamento de PMS-E de la empresa Volkswagen AG, por brindarme esta oportunidad única de realizar mi proyecto final de carrera sobre un tema de tanta importancia en la actualidad.

Especialmente quiero agradecer a *Herr Thomas Zembok* y *Frau Christina Berg*, tutores de mi proyecto en la empresa, por su dedicación y tiempo, mostrándose siempre dispuestos a prestarme toda la ayuda necesaria.

Mi gratitud y afecto a Dr. José Sancho Rodríguez, por su permanente interés por mi situación y por estar siempre disponible para ayudarme con cualquier duda que me surgiera.

A mi padre, por su insistencia en que realizara el PFC en una empresa extranjera. Realmente ha sido una de las mejores decisiones de mi carrera académica.

A mi madre, por todo el cariño y afecto que me transmitía a lo largo de estos seis meses de estancia en el extranjero.

A todos, muchas gracias



Tabla de contenido

1.	Introducción.....	3
1.1	Tecnología del coche eléctrico. Una visión de futuro.....	3
1.2	Objeto del Proyecto Fin de Carrera.....	5
1.3	Volkswagen AG – El Grupo Volkswagen.....	6
1.4	Factoría VW Wolfsburg– Departamento PMS-E.....	8
2.	Vehículo eléctrico. Producción.....	11
2.1	Vehículos eléctricos	11
2.1.1	Historia del coche eléctrico	11
2.1.2	Los coches eléctricos hoy en día.....	13
2.1.3	Clasificación de vehículos eléctricos.....	14
2.1.4	Funcionamiento básico.....	18
2.1.5	Componentes principales.....	19
2.1.6	Energía necesaria. Impacto sobre la red eléctrica.....	40
2.2	Procesos de producción	43
2.2.1	Proceso de prensas.....	43
2.2.2	Procesos de soldadura. Carrocería.....	45
2.2.3	Procesos de pintura.....	46
2.2.4	Procesos de montaje.	47
2.2.5	Nuevos métodos de producción – vehículos eléctricos.....	49
2.2.6	Transporte y gestión de componentes electrónicos.....	51
2.2.7	Estrategia de producción: diseño nuevo o de propósito frente a diseño de conversión.....	53



3.	Comparativa.....	58
3.1	Principales modelos y marcas de vehículos eléctricos.	58
3.1.1	Modelos eléctricos representativos	59
3.1.2	Tabla de datos. Vehículos eléctricos en el mercado.....	68
3.1.3	Comparativa modelos eléctricos/ modelos ICE o diesel.....	77
3.2	Cambios en los procesos de producción.	81
3.2.1	Nuevos materiales. Polímero reforzado de fibras de carbono	82
3.2.2	Procesos de prensa.....	84
3.2.3	Carrocería – procesos de soldadura.....	89
3.2.4	Procesos de pintura.....	91
3.2.5	Procesos de montaje final	92
3.2.6	Ejemplos de aplicación. Modelos reales.	94
3.2.7	Cualificación y formación.....	100
3.2.8	Logística	101
3.2.9	Previsión de ventas. Niveles de producción.	109
4.	Conclusiones de la comparativa.	113
5.	Valoración personal. Cierre del Proyecto Fin de Carrera.	114
6.	Bibliografía	115



1. Introducción

1.1 Tecnología del coche eléctrico. Una visión de futuro.

El pasado siglo XX representó una verdadera revolución en el terreno de la movilidad. Gracias al desarrollo del ICE (Internal combustion engine, motor de combustión interna), y al descubrimiento de los motores diesel, la industria automovilística sufrió un crecimiento espectacular, hasta el punto de que a finales de siglo prácticamente cada familia del mundo desarrollado disponía de al menos un vehículo propio. Esta tecnología parecía no tener límites, y todas las investigaciones estaban enfocadas al diseño y mejora de los modelos, cada vez más potentes y veloces.

Sin embargo, a lo largo del último cuarto de siglo, comenzaron a surgir algunos problemas: los modelos ICE y diesel no eran tan perfectos como se creía. En primer lugar, debido al crecimiento imparable del número de vehículos en las ciudades, la demanda de hidrocarburos se disparó hasta límites insospechados, poniendo incluso en peligro las reservas naturales de dichos compuestos. Todo ello causó una fuerte inflación que se tradujo en un notable aumento de los precios (OPEP).

Por otro lado, recientes estudios medioambientales mostraron los altos niveles de contaminación que presentaba nuestra atmósfera, causado en gran parte por el abuso de los hidrocarburos, los cuales una gran parte son utilizados en el uso automovilístico. Esta nueva corriente ecológica hizo que los gobiernos reaccionaran y dictaran nuevas leyes que regulaban el uso y consumo de los hidrocarburos. De este modo, el futuro de los vehículos ICE y diesel se preveía complicado, y paralelamente a una mejora y optimización de los motores existentes, la industria automovilística comenzó a buscar alternativas reales que evitaran los problemas mencionados.

Así, un cambio revolucionario se hacía necesario en el terreno de la industria automovilística. De hecho, éste constituye uno de los mayores retos del siglo XXI: encontrar una nueva forma alternativa, viable y factible, de propulsión de vehículos.

Hasta ahora, han surgido numerosas propuestas para sustituir a los ICE y motores diesel como medio de propulsión. El uso de productos biológicos o incluso hidrógeno como combustible, o el reciente desarrollo de la tecnología de las pilas de combustible son solo ejemplos de las soluciones propuestas.



Sin embargo, actualmente la alternativa más realista y factible es la tecnología del coche eléctrico. De hecho, prácticamente todos los fabricantes de automóviles más importantes del mundo están centrando sus esfuerzos en la investigación y desarrollo de este tipo de tecnología, y está previsto que a lo largo de los próximos años todos ellos lancen al mercado sus primeras versiones de vehículos eléctricos.

La característica principal de estos vehículos es la nula emisión de gases contaminantes mientras circulan, ya que no requieren de combustibles fósiles para funcionar; solamente energía eléctrica. De esta manera, si la electricidad proviene de una fuente de energía no contaminante, como las energías renovables, se completa un ciclo completamente limpio, donde no existe ningún tipo de emisión contaminante. Del mismo modo, en términos económicos, al librarse de la dependencia de hidrocarburos (y de sus altos precios), conducir un vehículo eléctrico puede resultar hasta 3 veces más económico que un vehículo de motor de combustión interna o diesel convencional. Esto es posible, por otro lado, gracias a la gran eficiencia de los motores eléctricos (alcanzan niveles de eficiencia en torno al 80-90%, mientras que los ICE y diesel rara vez superan el 35%). Así, el uso de la energía es mucho más eficiente en los vehículos eléctricos, minimizando al mínimo las pérdidas de energía.

Por este motivo, la tecnología del coche eléctrico se está posicionando como la mejor alternativa al modelo de vehículo actual, ofreciendo una factible pero a la vez tecnológicamente excitante solución a los problemas de los vehículos de motor de combustión interna y diesel.

Sin embargo, ésta continúa siendo una tecnología en estado de desarrollo, con inmensas posibilidades de mejora. Respecto a ello, actualmente uno de los principales focos de investigación (y, hoy en día, una de sus mayores debilidades) del vehículo eléctrico está relacionado con los sistemas de almacenamiento de energía. A día de hoy, la mejor solución a este problema son las conocidas baterías de ion-litio, pero su capacidad energética continúa aún muy lejos de los niveles de autonomía de los vehículos convencionales, ya que presentan unos rangos máximos de 160 km entre recarga y recarga. Sin embargo, aunque estos números puedan parecer escasos, recientes investigaciones demuestran que, con un rango de 160 km, los coches eléctricos cubren las necesidades diarias de más del 98% de la población, y tan solo deberían ser recargados de nuevo durante las horas nocturnas. A pesar de ello, ampliar la autonomía



de las baterías constituye en la actualidad la mayor preocupación de los fabricantes de automóviles, por lo que la mayor parte de la investigación y desarrollo están destinados a la mejora de estos sistemas de almacenaje de energía.

Aún y todo, podemos confirmar que el coche eléctrico ya está aquí. Durante los próximos años, las principales marcas automovilísticas lanzarán al mercado sus primeros vehículos eléctricos. Esto muestra cómo la industria del automóvil está apostando fuertemente por esta nueva tecnología. De hecho, hoy en día ya hay disponibles algunos modelos puramente eléctricos en el mercado, pero únicamente se trata de las primeras unidades de una tecnología que está llamada a ser la referencia en el futuro.

No obstante, la introducción del vehículo eléctrico en nuestra vida cotidiana no va a ser fácil. Aparte de la aceptación social y de la adecuación de las infraestructuras existentes (como por ejemplo los servicios de repostaje, “electrolineras”, nuevos talleres de reparación, etc.), el mayor cambio se va a producir en las compañías automovilísticas, ya que este cambio no afecta solo al diseño del vehículo sino también (y con gran notoriedad) a los procesos de producción y fabricación de los mismos, así como origina un dibujo totalmente nuevo en el ámbito de relaciones entre fabricantes y proveedores (la inclusión de componentes electrónicos de alta gama introduce a nuevas industrias en el campo de la automoción).

Por todo ello, desde el punto de vista de la ingeniería, resulta sumamente interesante analizar qué medidas van a adoptar las empresas automovilísticas para hacer frente a este cambio inminente, es decir, cómo van a integrar en su sistema de producción esta nueva tecnología.

1.2 Objeto del Proyecto Fin de Carrera

El objetivo de este proyecto es ofrecer una visión general del estado actual de la tecnología del coche eléctrico, detallando cómo este nuevo concepto de movilidad va a cambiar la industria del automóvil y analizando sus ventajas y desventajas.

Para ello, este proyecto no se centrará únicamente en las características técnicas principales o prestaciones de los vehículos eléctricos, sino que también abarcará los cambios que suponen en las factorías la introducción de estos nuevos modelos. En



resumen, se analizarán los efectos que la llegada de esta nueva generación de automóviles tendrán sobre la producción industrial y la economía del mundo de la automoción. Los cambios en el proceso de producción componen el ámbito de estudio, con lo que la intención del proyecto es proporcionar una visión general técnica de las nuevas técnicas y métodos que las diferentes marcas introducirán en sus fábricas, así como la estrategia de producción que adoptarán para afrontar este nuevo producto.

De este modo, en primer lugar se explicarán los conceptos básicos de la tecnología del coche eléctrico y los procesos de producción clásicos, seguidos de una detallada descripción de los nuevos componentes de que los coches eléctricos incorporan. Por último, se llevará a cabo una comparación entre los modelos eléctricos más representativos que ya están disponibles o que saldrán al mercado en los próximos años.

Esta comparación analizará los nuevos procesos de producción y métodos que actualmente se utilizan con los modelos actuales (de motor ICE y diesel). Por lo tanto, los principales cambios en los procesos productivos (prensas, carrocería, pintura y montaje) serán estudiados y se presentarán las ventajas y desventajas que aportan, así como las diferentes estrategias tomadas por las principales marcas automovilísticas para su aplicación. Además, se expondrá el nuevo marco de relaciones proveedor-cliente que esta nueva tecnología origina.

En conclusión, este Proyecto Fin de Carrera mostrará cómo va a cambiar la industria del automóvil en los próximos años.

1.3 Volkswagen AG – El Grupo Volkswagen

Volkswagen AG es uno de los productores de automóviles más importantes del mundo y el mayor fabricante en Europa. El pasado año 2010 consiguió los mejores resultados de su historia, lo que muestra claramente la gestión efectiva de la empresa en estos tiempos de crisis financiera que, desde el año 2008, está azotando duramente la economía mundial, afectando de manera crítica al sector de la automoción, cuyas ventas globales han caído de manera estrepitosa. De este modo, Volkswagen AG muestra una imagen de empresa sólida que conoce qué es lo que el cliente realmente necesita y que sabe innovar su producto y adaptarlo a la situación actual. Por otro lado, la posición global del



Grupo Volkswagen (figura entre los principales firmas de automóviles a nivel mundial) has despertado un gran interés por parte del mercado, que aguarda con entusiasmo la estrategia que el Grupo va a tomar en lo relacionado con la inminente tecnología del coche eléctrico. De este modo, el Grupo Volkswagen está dedicando una gran cantidad de esfuerzos y recursos para el desarrollo de esta nueva tecnología.

El Grupo Volkswagen está compuesto por diez empresas automovilísticas de siete países europeos diferentes: Volkswagen, Audi, Bentley, Bugatti, Lamborghini, Scania, Seat, Skoda, MAN y Volkswagen NW (comerciales y camiones). Cada empresa conserva su propio carácter y opera por su cuenta en sus respectivos mercados. La gran diversidad



permite al Grupo ocupar todos los sectores del automóvil en el mercado, ya que ofrece todo tipo de vehículos, desde los eficientes, compactos automóviles urbanos hasta los modelos de alta gama y lujo. En cuanto a los vehículos comerciales, sus divisiones Scania, MAN y Volkswagen NW ofrecen una gran variedad de modelos Pick-up, camionetas y camiones. Además, las relaciones comerciales con el fabricante Porsche permiten al Grupo introducirse también en el exclusivo sector de los automóviles deportivos de alta gama.

Hoy en día, el Grupo Volkswagen tiene fábricas repartidas por todo el mundo, situadas en 15 países europeos y 6 países en América, Asia y África, con un total de 62 factorías. En total, el Grupo emplea a 448.700 personas en todo el mundo, para alcanzar una producción anual de 6.301.000 unidades, que posteriormente se venderán en los departamentos comerciales que el grupo posee en más de 153 países.

Actualmente, la principal premisa del Grupo Volkswagen es implantar un modelo de producción ecológico y sostenible, ofreciendo al público un producto de calidad y eficiencia que responda a sus necesidades diarias.



1.4 Factoría VW Wolfsburg– Departamento PMS-E

La sede central del Grupo Volkswagen está situado en la localidad alemana de Wolfsburg, situada junto al río “Mittellandkanal”, en la parte oriental de la región alemana de Baja Sajonia. Esta factoría (y, con ella, el Grupo entero, así como la propia ciudad de Wolfsburg) se fundó en 1938. En aquella época, la fábrica producía su primer modelo, el “KdF-Wagen” (“Kraft durch Freude”, Fuerza a través de la alegría), que representaba el poderío económico e industrial de Alemania frente al resto de países europeos. Desde entonces, la fábrica continuó creciendo hasta alcanzar el área actual de 6,5 km², de donde 1,6 km² corresponden a áreas dedicadas completamente al montaje de vehículos. De hecho, constituye la mayor nave industrial cubierta destinada al montaje del vehículo del mundo.

Es fácil comprender la enorme importancia e influencia que esta factoría posee no solo sobre la ciudad de Wolfsburg, sino sobre toda la región de Baja Sajonia. Solo esta fábrica emplea un total de 49.857 personas (número que representa casi la mitad del censo de Wolfsburg, cifrado en 121,451 personas), pero es imposible calcular el inmenso número de trabajos indirectos creados en torno a esta factoría.



Tal y como se ha mencionado, la fábrica de Wolfsburg constituye, además, la sede central del grupo Volkswagen, por lo que el recinto alberga a su vez el centro tecnológico y el departamento I+D+I de las empresas miembro, así como la dirección central de finanzas y gestión operativa. No obstante, la fábrica mantiene a su vez una elevada producción de automóviles. De hecho, en la fábrica se producen diariamente un total de 3.450 unidades, repartidas en cuatro modelos diferentes:

- Golf A6, con una producción diaria de 2.000 unidades, constituyendo la fábrica líder de este modelo.
- Touran, con una producción diaria de 600 unidades.



- Tiguan, con una producción diaria de 600 unidades.
- Golf Plus edition, con una producción diaria de 250 unidades.

Para alcanzar este importante volumen de producción, un preciso y optimizado proceso de producción es necesario, no solo usando las últimas tecnologías y métodos disponibles, sino también estableciendo una poderosa red logística de relaciones con proveedores, que proporcionan componentes a la línea de montaje bajo la filosofía Just-in-time o incluso Just-in-sequence. De hecho, cada coche incluye más de 8.000 pequeñas piezas o componentes que, diariamente, son proporcionadas a la fábrica por parte de proveedores de todo el mundo. Volkswagen gestiona en torno a 1.900 proveedores diferentes que proporcionan pequeñas piezas, componentes o materia prima cada día en más de 600 camiones y 150 vagones ferroviarios. Al mismo tiempo, alrededor de 120 trenes de doble piso parten diariamente de Wolfsburg con dirección resto de Europa para vender el producto finalizado. Este intenso tráfico ferroviario ha hecho de la estación de carga de fábrica de Wolfsburg la estación ferroviaria privada más grande de Europa, con un tráfico anual aproximado de 170.000 vagones de tren que cargan y descargan sus mercancías en la factoría.

En el año 2000, el Grupo Volkswagen tomó la decisión de construir, en un área adyacente al recinto industrial, un verdadero parque temático automovilístico, Autostadt, que actualmente recibe más de 150.000 visitas al año.

Departamento PMS-E

Dentro de la división de Producto de Marca (Produkt Marke, PM), se fundó en abril de 2011 el departamento PMS-E, Bereich Projektleitung e.Motion Produktion, es decir, departamento de gestión de proyectos del programa e.Motion, dentro del ámbito de la producción. El programa e.Motion recoge todos los proyectos de electrificación de vehículos, estudiando la adaptación de modelos de propulsión eléctrica en automoción.

De este modo, PMS-E se encarga de gestionar los diferentes proyectos de electrificación de modelos de la marca Volkswagen, centrando su actividad en 3 focos:



- Gestión de la producción de los modelos eléctricos venideros, analizando los cambios en los procesos de prensas, carrocería, pintura y montaje que supondrá la introducción del modelo eléctrico en el proceso productivo actual.
- Visión y estrategia, que define las conductas y medidas que la marca Volkswagen va a adoptar con la llegada de esta tecnología conforme se van desarrollando los proyectos.
- Seguridad de alto voltaje, se encarga de la formación y concienciación de la plantilla frente a la llegada de nuevos componentes, dando a conocer los peligros que implica la manipulación de los componentes de alto voltaje que el coche eléctrico incorpora.

Como estudiante de ingeniería, es un honor para mí haber podido realizar mi PFC en el departamento descrito. Ha resultado una oportunidad única de conocer de primera mano uno de los temas más actuales y prometedores de la industria automovilística actual, por lo que estoy convencido que esta estancia en Volkswagen me servirá de gran ayuda y experiencia en mi futuro profesional.



2. Vehículo eléctrico. Producción.

2.1 Vehículos eléctricos

2.1.1 Historia del coche eléctrico

Aunque la tecnología del coche eléctrico es un tema en auge en la actualidad, lo cierto es que los vehículos propulsados por motores eléctricos fueron inventados hace más de un siglo. De hecho, al comienzo del siglo XX, los modelos eléctricos y los basados en motores ICE coexistieron durante varias décadas. En aquella época, los coches eléctricos ofrecían una conducción mucho más confortable y cómoda que los modelos de gasolina, del mismo modo que su sistema de arranque era mucho más sencillo y limpio. De esta manera, los coches eléctricos se convirtieron rápidamente en vehículos de alta gama, y únicamente la aristocracia y burguesía adinerada podía permitirse la adquisición de uno de estos modelos.

El coche eléctrico poseía numerosas ventajas sobre sus competidores a comienzos del siglo XX. No sufrían las vibraciones, ruido ni malos olores característicos de los modelos de gasolina. Así mismo, el cambio de marchas en los ICE era una operación dificultosa, mientras que los modelos eléctricos no requerían de caja de cambios; si, por otro lado, se optaba por un motor gasolina con una única relación, el problema surgía en forma un elevado tiempo de calentamiento (hasta 45 minutos) antes de poner en funcionamiento el motor. Paradójicamente, otro gran problema de los modelos de combustión era el reducido rango de conducción que presentaban, pues requerían de un cambio de agua de refrigeración con mayor frecuencia que los coches eléctricos. Además, el sistema de arranque de los motores gasolina (manivela que requería cierta fuerza para su arranque) limitaba su uso a hombres adultos. Por otro lado, únicamente las vías y carreteras urbanas presentaban condiciones adecuadas para la conducción, por lo que la gran mayoría de los trayectos eran cortos desplazamientos urbanos, donde los eléctricos se presentaban como la solución más cómoda y sencilla.

Sin embargo, esta situación cambió drásticamente unos años más tarde. El declive de los coches eléctricos, así como el renacimiento de los motores de combustión interna, se debe básicamente a la siguiente situación:



En los años 1920, América construyó una infraestructura de carreteras y vías interurbanas que conectaban distintas ciudades, de manera que nacía la necesidad de un mayor rango de conducción que evitara las constantes paradas para recarga de energía. Además, el descubrimiento de las reservas petrolíferas en Texas redujo el precio de la gasolina, mientras que el invento, por parte de Charles Kettering, del estárter eléctrico resolvió el problema del arranque de los motores ICE. Por último, lo que finalmente decantó la balanza del lado de los modelos de gasolina fue la inclusión de la producción en masa de la mano de Henry Ford, que redujo drásticamente el precio de adquisición de estos vehículos, accesibles ahora para la clase media. En contraste, el precio de los vehículos eléctricos (no adecuados a la producción en masa) continuaba creciendo.

De este modo, los modelos ICE ganaron la batalla, y en torno a 1935 los coches eléctricos simplemente desaparecieron del panorama automovilístico. No fue hasta mediados de los 70 cuando la idea de retomar esta tecnología volvió a resurgir. Debido al imparable encarecimiento de los combustibles (Crisis del petróleo, 1973), algunas empresas decidieron rescatar esta tecnología y comenzaron a diseñar nuevos modelos eléctricos.

Sin embargo, la falta de tecnología (la autonomía y la potencia de los vehículos eléctricos era irrisoria frente a las de los modelos de gasolina), así como la optimización de los motores ICE que se llevó a cabo a finales de década mantuvieron a los coches eléctricos en un segundo plano. No obstante, a mediados de los 90, la idea de la propulsión eléctrica volvió a tomar fuerza. En esta época, estudios medioambientales mostraron que la contaminación debida a la emisión de CO₂ por parte de los vehículos representaba un alto riesgo ambiental y de salud (Protocolo de Kyoto, 1997). Añadido a la creciente preocupación por el agotamiento de combustibles fósiles naturales (el carbón, el petróleo y el gas natural no provienen de fuentes de energía renovable), provocó que la sociedad comenzará a buscar alternativas a este modelo de propulsión. Esta necesidad de independencia de los combustibles fósiles llevó nuevamente a la tecnología del coche eléctrico, hasta el punto de convertirse, hoy en día, en la alternativa principal a los vehículos de motor de gasolina y diesel (existen otras vías de investigación, como las pilas de combustible, pero estas tecnologías se encuentran todavía en fase experimental). El desarrollo de los motores eléctricos, así como los satisfactorios avances en el campo de la electrónica de potencia y (sobre todo) la mejora



de la capacidad de las baterías de alto voltaje, han hecho del coche eléctrico una alternativa real a los coches convencionales.

2.1.2 Los coches eléctricos hoy en día

Tal y como se ha explicado, la tecnología del coche eléctrico es hoy en día uno de los temas candentes de la industria del automóvil. Realmente, esta tecnología está llamada a ser el primer gran descubrimiento del siglo XXI. De este modo, esta temática se encuentra en la agenda de todas las empresas automovilísticas del mundo, y muchos de ellos ya están dedicando una gran cantidad de recursos en el desarrollo de esta técnica, la motorización eléctrica, que parece que a largo plazo se irá imponiendo en la industria del automóvil. Pero, ¿en qué consiste realmente un coche eléctrico?

En apariencia, los coches eléctricos no difieren demasiado con los modelos convencionales. De hecho, observándolos desde el exterior, solo presentan pequeñas diferencias; por ejemplo, se puede apreciar que los eléctricos no disponen de tubo de escape, ya que no producen ningún tipo de emisión de gases. Aparte de esto, la imagen exterior es muy semejante a la de los modelos ICE/diesel, con posibles pequeños cambios en el diseño de la carrocería.

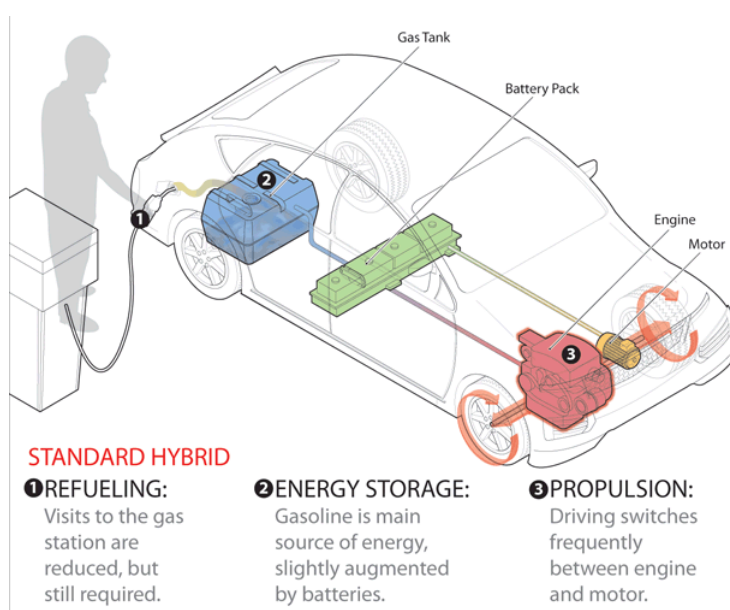
Sin embargo, esta diferenciación se acentúa cuando se observan ambos sistemas de propulsión. De forma general, y respondiendo a una analogía funcional, se puede afirmar que los vehículos eléctricos incorporan un motor eléctrico en lugar de un motor de combustión interna o diesel, un sistema de electrónica de potencia donde antes se situaba la bomba de gasolina, y una batería de alto voltaje que juega el papel del antiguo depósito de combustible. Aunque pudiera parecer que estos cambios no tienen gran significado, lo cierto es que varía radicalmente el concepto de propulsión, así como supone un auténtico desafío para los fabricantes de automóviles, pues requiere de técnicas y métodos totalmente nuevos para su ensamblaje.

2.1.3 Clasificación de vehículos eléctricos.

Dependiendo de cómo están dispuestos estos componentes eléctricos en el interior del vehículo y de cómo afectan al modo de conducción, podemos distinguir tres tipos principales de vehículos eléctricos.

2.1.3.1 Vehículo eléctrico híbrido (HEV, Hybrid Electric Vehicle)

Estos vehículos fueron los primeros modelos del mercado considerados como vehículos eléctricos (Toyota Prius, 1997). En realidad, se podrían considerar como vehículos medio-eléctricos, ya que incorporan conjuntamente un sistema de propulsión eléctrico y otro convencional (gasolina o diésel). En estos modelos, el sistema de propulsión principal es el basado en un motor de



combustión interna o diesel, mientras que el eléctrico responde a funciones auxiliares, tales como el conocido sistema start-stop y otras tareas de ayuda. Aun así, la incorporación de este sistema reduce sensiblemente el consumo de combustible, y mejora la respuesta y el confort de la conducción.

En este caso, la batería de alto voltaje es bastante reducida, con una capacidad energética limitada. Además, ésta no puede ser recargada por medio de una fuente externa, sino que se auto-recarga gracias al aprovechamiento de las fuerzas de inercia propias de los motores ICE o diesel, mediante dispositivos como los frenos regeneradores. Estas limitaciones impiden una conducción puramente eléctrica, y por ello precisamente estos modelos sólo se consideran como el primer paso de la conversión hacia la movilidad eléctrica, no como modelos puramente eléctricos. Sin



embargo, su aparición resultó totalmente imprescindible para el desarrollo de esta tecnología.

2.1.3.2 Vehículo eléctrico híbrido plug-in (PHEV, Plug-In Hybrid EV)

Estos vehículos representan el siguiente paso en el camino a la movilidad puramente eléctrica. Como en el caso anterior, éstos también incluyen ambos sistemas de propulsión (eléctrico y basado en combustibles), pero en esta ocasión el sistema eléctrico adquiere una importancia mucho mayor. De hecho, muchos modelos PHEV ofrecen una corta autonomía para una conducción puramente eléctrica, esto es, con consumo nulo de combustible. Esto es posible gracias a una nueva disposición interna de los componentes que forman el sistema de propulsión: el motor eléctrico está ahora conectado directamente al diferencial, por lo que no es necesario que el motor ICE/diesel se encuentre en funcionamiento constantemente. Generalmente, siempre que sea posible se hará con el motor eléctrico, de modo que cuando la batería se agote (como se ha comentado, la capacidad es bastante limitada), el motor de gasolina/diesel entra en funcionamiento, comportándose el vehículo como un modelo convencional. De esta manera, se solucionan completamente los problemas de autonomía relacionados con los modelos puramente eléctricos.

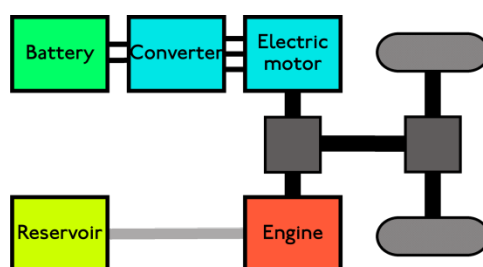
En el caso de los PHEV, aunque siguen incorporando sistemas de recuperación de energía, sus baterías de alto voltaje pueden ser recargadas de forma externa, simplemente conectando el enchufe que incluyen en una fuente de energía eléctrica externa (en general, una toma eléctrica doméstica convencional). Dependiendo de la capacidad de la batería de alto voltaje, la carga completa puede durar entre 3 y 5 horas, después de las cuales, el vehículo está otra vez listo para la conducción eléctrica.

De acuerdo con la disposición de los diferentes componentes en el sistema de propulsión, pueden distinguirse distintas configuraciones de PHEVs:



Configuración híbrida en paralelo: ambos motores (eléctrico y ICE/diesel) se encuentran acoplados al diferencial, por lo que pueden propulsar al vehículo de forma independiente. El principal objetivo de esta configuración es mantener el motor ICE en un rango de operación óptimo, de modo que el motor eléctrico se usa principalmente en momentos como la aceleración o en general cuando se cambian las condiciones de la conducción. Esta configuración (con la excepción de que no se pueden conducir de manera puramente eléctrica en ningún momento) es la que incorporan todos los vehículos híbridos.

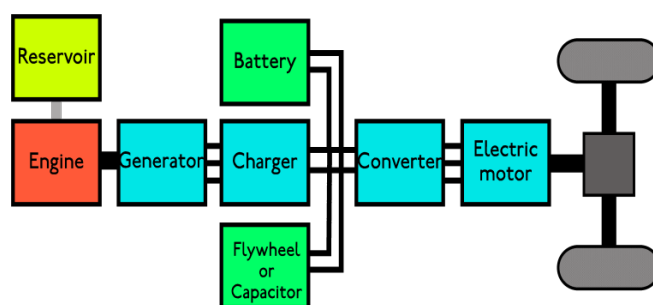
De este modo, esta configuración puede plasmarse en el siguiente esquema:



Configuración híbrida en paralelo

Configuración híbrida en serie: también conocidos como Vehículos eléctricos de rango extendido (E-REV, Extended-Range Electric Vehicle, o RE BEV/REEV, Range Extended (Battery) Electric Vehicle), en este tipo de configuración el sistema basado en el motor ICE/diesel únicamente trabaja como generador eléctrico, suministrando energía a la batería o directamente al motor eléctrico cuando las reservas se agotan. De esta manera, el motor eléctrico es el encargado de la propulsión del vehículo en todo momento, mientras que el ICE/diesel hace las veces de motor auxiliar. Por lo tanto, se puede considerar que el vehículo circula siempre en modo eléctrico. Con esta configuración, se consigue una mayor simplicidad de la mecánica del automóvil (no requiere de caja de cambios ni demás componentes mecánicos asociados a la conducción en modo motor ICE/diesel).

Este tipo de configuración está adquiriendo cierta relevancia, con un número creciente de modelos PHEV que optan por esta disposición. Ciertamente, es el último paso de los modelos híbridos, el que más se asemeja a los puramente eléctricos.



Configuración híbrida en serie

Al contrario que en caso anterior, debido a la importancia que cobra el sistema eléctrico, esta configuración no es aplicable a los vehículos híbridos (HEV) convencionales.

2.1.3.3 Vehículo eléctrico puro (BEV, Battery Electric Vehicle)

Este grupo lo constituyen los modelos 100% eléctricos. Entendemos por vehículo puramente eléctrico aquel que únicamente incorpora un sistema eléctrico como sistema de propulsión, esto es, carece de cualquier tipo de motor ICE/diesel. En este caso, toda la energía requerida para la circulación del vehículo es proporcionada por la batería de alto voltaje, por lo que no se consume nada de combustible en ningún momento; por este motivo estos vehículos también se califican como zero-emission vehicles.

Gracias a la tecnología actual, sus prestaciones técnicas se asemejan a los de los vehículos convencionales, pero ofreciendo una conducción mucho más suave y cómoda.

A pesar de ello, el principal caballo de batalla de estos vehículos continúa siendo la reducida autonomía que ofrecen las baterías de alto voltaje que incorporan. Hoy en día, el recorrido que ofrece un vehículo eléctrico puro medio no supera los 160 km antes de volver a recargar su batería (al igual que los PHEV, disponen de sistemas de recuperación de energía durante la conducción, pero deben ser recargados a través de una fuente de energía externa), por lo que en este aspecto, siguen todavía muy lejos de los niveles de autonomía que presentan los modelos convencionales ICE/diesel. Además, la recarga completa de batería tiene una duración de entre 4 y 8 horas, lo que hace del vehículo un vehículo expresamente dirigido a un uso urbano, sin largas distancias a recorrer y donde las baterías pueden ser recargadas durante las horas nocturnas.



Sin embargo, son muchas las esperanzas depositadas en este modelo de automoción, y se considera como el futuro de la automoción, hasta el punto que todas las grandes compañías tienen proyectos de modelos eléctricos puros en su agenda. Del mismo modo, se espera que la tecnología relacionada con los sistemas de almacenamiento de energía logre grandes avances en los próximos años, solucionando así el problema de autonomía citado. Cuando esto ocurra, el coche eléctrico puro competirá cara a cara con el modelo convencional ICE/diesel.

2.1.4 Funcionamiento básico.

Tal y como se ha dicho, un vehículo eléctrico no difiere en demasía de un vehículo convencional ICE/diesel. Tampoco lo hace su funcionamiento, ya que el principal cambio reside en el cambio de sistema de propulsión, pero el resto del vehículo (la mayoría de los componentes mecánicos y elementos del habitáculo, exteriores, etc.) permanece prácticamente inalterado.

Como claro representante de la conducción eléctrica pura, se tomara el vehículo eléctrico puro (BEV) como el modelo de la explicación.

El proceso de funcionamiento de estos vehículos es sencillo: en primer lugar, la batería debe encontrarse cargada. El tiempo de carga completa, para una fuente de energía externa de las características de la red doméstica (230V, 16A -> 3,3 kW), tiene una duración media de 4 a 8 horas, según capacidad (así, las baterías de los modelos PHEV tardarán menos tiempo en recargarse, pues su capacidad es menor). Sin embargo, dadas la forma de la corriente eléctrica proporcionada por la red (alterna monofásica), esta energía no puede almacenarse directamente en la batería. Para ello, necesita ser procesada previamente; en este paso es donde aparece el primer elemento del sistema de electrónica de potencia: el convertidor. Este dispositivo convierte (mediante un proceso que será explicado más adelante) la energía eléctrica alterna en continua, de modo que la batería de alto voltaje es capaz de almacenarla y recargarse.

Una vez la batería alcanza el nivel de energía necesario, se desconecta la fuente de alimentación externa y se pone en marcha el motor. En esta ocasión, el flujo de energía se produce entre la batería y el motor eléctrico, que se encargará de la propulsión del vehículo. Dada la magnitud de la energía necesaria para la conducción del automóvil, la



mayoría de los modelos incorporan motor trifásico de corriente alterna. Así, para adaptarse a estos requerimientos, la energía almacenada en la batería necesita nuevamente ser procesada mediante otro dispositivo de electrónica de potencia: el inversor. Tal y como veremos en el siguiente capítulo, este elemento es uno de los más importantes, pues de su tarea (convertir la corriente continua en trifásica alterna) depende el correcto funcionamiento del motor, es decir, una correcta respuesta del vehículo. Así, el motor eléctrico recibe la energía necesaria y a través del diferencial la transmite a las ruedas en forma de energía mecánica, que se encargará del desplazamiento del vehículo.

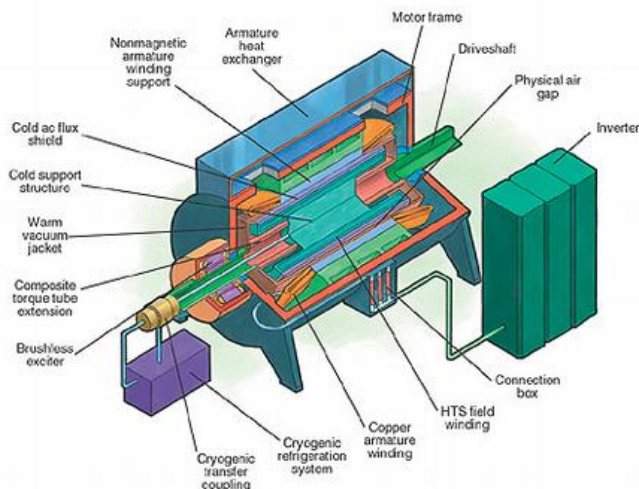
Como la capacidad de las baterías actuales no es muy elevada, ciertas medidas deben ser adoptadas para evitar pérdidas innecesarias de energía y aumentar la eficiencia. De este modo, se incorporan dispositivos como el sistema de recuperación de energía durante la frenada o la disposición de generadores solares en el exterior del automóvil, entre otras, con el objetivo de recuperar parte de la energía que otrora se perdía en forma de fuerzas inerciales o de aprovechar las condiciones de la conducción para generar (pequeñas) cantidades de energía. Aunque estas magnitudes son bastante reducidas, dada la baja capacidad de las baterías, estas medidas resultan imprescindibles para alcanzar un nivel aceptable de autonomía de conducción, por lo que hoy en día todos los modelos eléctricos incorporan estos dispositivos en equipación de serie.

El vehículo continuará circulando hasta agotar completamente sus baterías, momento en el que el se vuelve a repetir todo el proceso descrito.

2.1.5 Componentes principales

2.1.5.1 El motor eléctrico.

El sistema de propulsión de un vehículo eléctrico tiene una actuación similar al de un vehículo convencional ICE/diesel, en cuanto a que es el motor el encargado de transformar un tipo de energía (energía química en el caso de los ICE/diesel; energía eléctrica en el caso del motor eléctrico) en energía mecánica que se transmite a las ruedas para desplazar al vehículo. Sin embargo, tanto el modo de funcionamiento como los elementos de que se componen son muy diferentes.



Modelo de motor eléctrico

Por ejemplo, en el sistema de propulsión de un vehículo eléctrico, destaca la ausencia de caja de transmisión. En los modelos ICE/diesel, este componente es el encargado de administrar la relación de velocidades entre el cigüeñal del motor y el diferencial, de modo que regula el par que el motor ofrece a una velocidad de giro determinada. Esta regulación viene definida por el cambio de marchas a través de la caja de transmisión; así, al alcanzar una cierta velocidad (RPM), es conveniente “cambiar” de marcha, de modo que la relación par/velocidad varía, adecuándose correctamente a las necesidades de la conducción. Como todo este proceso es mecánico, esos cambios de transmisión se traducen en una operación sensible (ruido, percepción) para los pasajeros.

En los vehículos eléctricos, sin embargo, el encargado de transmitir la potencia al diferencial es directamente el motor eléctrico. Dadas las características de estos motores, algunos modelos no requieren de caja de transmisión. A pesar de que todos ellos actúan de manera similar, existen ciertas diferencias que se analizarán en los siguientes apartados.

Los motores eléctricos son dispositivos que transforman la energía eléctrica en energía mecánica. Principalmente existen dos tipos de motores según la forma en que la energía eléctrica les es suministrada: motores de corriente continua (DC) y motores de corriente alterna (AC).

Los motores eléctricos están compuestos por tres elementos básicos:



- Un cierto número de bobinas en torno al perímetro del motor (estator) donde se creará un campo magnético que será el encargado de provocar el par.
- Un rotor (también llamado armadura) que gira dentro del campo magnético creado por las bobinas.
- En el caso de los motores DC, se requiere además de un dispositivo de conmutación que invierte la dirección del campo magnético y permite al rotor proporcionar par motor.

Por lo tanto, ambos motores AC y DC son bastante similares (ambos incorporan un bobinado y un rotor), aunque dadas las características de la corriente alterna, los motores AC no requieren del conmutador magnético de los motores DC. Aparte de ello, ninguno de los dos puede ser considerado mejor o peor que el otro en términos globales. Ambos presentan una serie de ventajas y desventajas que se analizan en la siguiente tabla:

<i>Motores AC</i>	<i>Motores DC</i>
Única relación de transmisión	Caja de cambios necesaria
Ligeros en peso	A igual potencia, mayor peso que en AC
Más económicos	Más caros
95% eficiencia a plena carga	85-95% eficiencia a plena carga
Controlador costoso y complejo	Controlador simple
Sistema de electrónica de potencia más complejo y caro	No require inversor

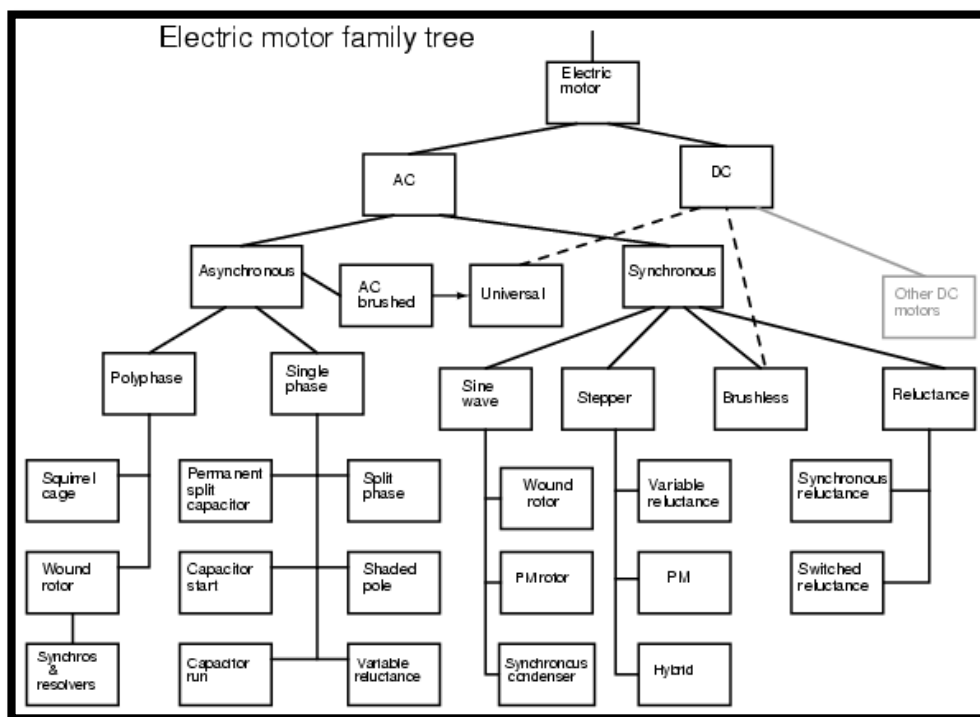
Tal y como concluimos de la tabla, los motores AC son más económicos que los DC, pero el sistema de electrónica de potencia que requieren (inversor, controlador...) es más complejo y caro que en el caso de los motores de corriente continua. En general, los motores AC son ampliamente usados en aplicaciones domésticas y maquinaria industrial. Estos motores son más fiables pues contienen una única parte móvil, y requieren de ligero o nulo mantenimiento. En cuanto a las características técnicas de ambos motores, se representan en la siguiente tabla:



	<i>Motor DC (Escobillas)</i>	<i>Motor DC brushless de imán permanente</i>	<i>Motor AC de inducción</i>
Valores pico de eficiencia	85-89	95-97	94-95
Eficiencia al 10% de carga	80-87	73-82	93-94
Max. RPM	4,000-6,000	4,000-10,000	9,000- 15,000
Coste por unidad de potencia (CV)	\$100-150	\$100-130	\$50-75
Coste relativo del controlador (referido al Motor DC de escobillas)	1	3-5	6-8

Escoger un determinado motor para un vehículo eléctrico implica ciertas variables. Ninguno de los tipos expuestos puede considerarse el más adecuado en términos absolutos. En el diseño de un vehículo eléctrico, algunas cuestiones deben ser resueltas antes de la elección del tipo de motor: cuánta potencia se necesita, si se requiere o no de una relación de velocidades, cuál es el voltaje operativo de las baterías, que tipo de par motor se necesita y en qué condiciones, qué espacio físico debe ocupar, cuál es el coste límite de fabricación, condiciones climáticas en que va a operar... Una vez estas preguntas son analizadas, se escoge el tipo de motor en base a una relación de compromiso. Tras la elección del tipo de motor, se procede al diseño del sistema de control adecuado a dicha elección.

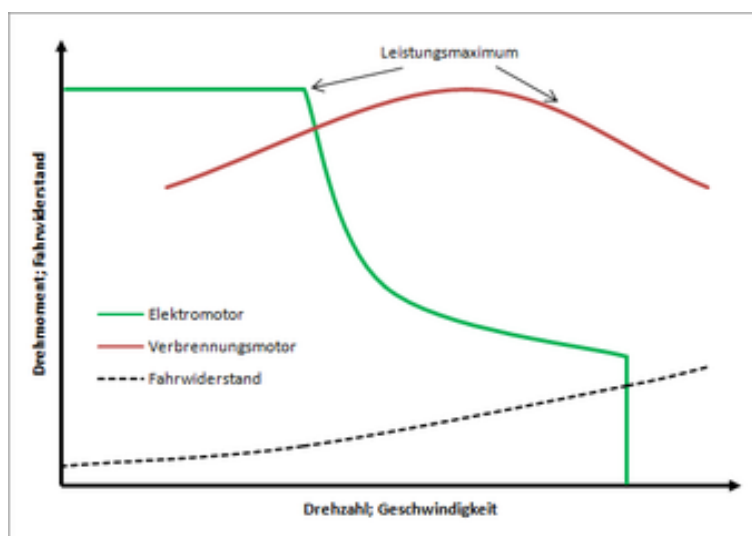
Hoy en día, la mayoría de los fabricantes de automóviles se han decantado por motores síncronos de imán permanente de corriente alterna trifásica para el diseño de sus vehículos. Estos motores encajan perfectamente con las necesidades de un automóvil eléctrico convencional, ya que proporcionan la suficiente potencia y par para una conducción cómoda y segura. En contra, tal y como se ha expuesto en las tablas previas, este tipo de motor requiere de un sistema de control más complejo y caro, que compensa el bajo coste de fabricación del motor en sí. Aun así, el conjunto global (a niveles de potencia y par de los modelos actuales) resulta más económico. Además, el uso de imanes permanentes permiten la construcción de motores de menor tamaño y mejores condiciones de limpieza y mantenimiento. Por todo esto, actualmente este tipo de motor se presenta como el que mejor se adapta a la tecnología del vehículo eléctrico.



Familia de motores eléctricos

Ciertamente, este tipo de motor ofrece unas características técnicas muy similares a las de un motor ICE/diesel equivalente, pero en un espacio mucho más reducido. Además, evitan riesgos asociados a los motores de combustible, especialmente los relacionados con riesgos de explosión y los fallos mecánicos internos. Del mismo modo, la ausencia de gran número de elementos mecánicos móviles permite al motor eléctrico funcionar de manera mucho más suave y silenciosa que en el caso de los ICE/diesel, traduciéndose en un mayor confort y suavidad en la conducción.

En cuanto al funcionamiento interno del motor, los modelos eléctricos presentan grandes diferencias con los ICE/diesel. Una de las más importantes (y que influye directamente en el comportamiento del vehículo) reside en la curva par-velocidad que ambos modelos ofrecen.



Curva par-velocidad de un motor eléctrico vs. motor de combustión

Como vemos, en el caso de los motores ICE/diesel, el par máximo se alcanza cuando el motor adquiere una determinada velocidad de giro, a partir de la cual el par comienza a decrecer de nuevo hasta alcanzar el estado de máxima potencia (potencia = par x velocidad de giro). De este modo, lo mejor es mantener el rango de funcionamiento del motor entre estos dos valores máximos (par máximo y velocidad máxima), de modo que una eventual pérdida de potencia (descenso de la velocidad de giro del motor, p. ej. en una subida) se traduzca en una ganancia de par que permite al motor recuperar el ritmo deseado. Por otro lado, el carácter de la curva de par (en forma de “montaña” y con una gran pendiente cuando se aleja del valor máximo) hace necesario la incorporación de un cambio de relaciones de velocidad que permita el “salto” de una curva a otra superior (o inferior) que ofrezca las condiciones deseadas.

Los motores eléctricos, sin embargo, ofrecen el par máximo desde el momento en que entran en funcionamiento (a partir de 0 rpm), y éste se mantiene constante a lo largo de un cierto rango de velocidad de giro. Entonces, una vez el motor alcanza una potencia determinada (punto de máxima potencia), el torque comienza a decrecer de forma aproximadamente proporcional al aumento de la velocidad de giro. Esta condición hace que, a lo largo de esta etapa, el motor entregue una potencia constante (potencia = par x velocidad de giro) hasta que el motor alcanza su velocidad de giro límite.

Por todo ello, los motores eléctricos evitan problemas relacionados con el ralentí, al mismo tiempo que no requieren de una caja de cambios (una única relación de velocidad



es suficiente) para obtener un funcionamiento y respuesta adecuados del motor a cualquier régimen, plasmándose en una conducción más cómoda y sin sobresaltos. Además, el hecho de ofrecer el máximo par a bajas velocidades se traduce en una conducción más ágil y manejable.

Por último, una característica interesante de los motores eléctricos es la posibilidad de actuar como alternador. En este caso, el proceso se invierte: el rotor recibe una energía mecánica (en este caso, esta energía proviene de las fuerzas de inercia asociadas al frenado del vehículo) y se genera una corriente eléctrica en el estator. Gracias a esta función, gran parte de la energía que otrora se desaprovecharía en forma de pérdidas de inercia puede ser recuperada y reutilizada para mejorar la eficiencia del vehículo. De hecho, esta corriente de regeneración se puede utilizar para recargar las baterías y así incrementar la autonomía del automóvil.

Uno de los dispositivos más conocidos y ampliamente utilizados de recuperación de energía es el sistema de frenos regenerativos. A continuación, se analizará el funcionamiento de esta técnica, junto con otros métodos de recuperación de energía.

Medidas para mejorar la eficiencia. Técnicas de recuperación de energía.

La baja autonomía de las baterías de alto voltaje es el principal problema de los vehículos eléctricos. Por ello, resulta de gran interés optimizar la energía disponible para evitar pérdidas innecesarias de energía que reducirían aún más la ya reducida autonomía de conducción. Para ello, se han diseñado nuevos dispositivos capaces de captar esos flujos de energía perdida que irremediablemente se producen durante la conducción para transformarla nuevamente en energía útil, así como mejoras tecnológicas aplicables a componentes que mejoran su eficiencia o incluso pequeños sistemas de generación energética a partir de fuentes renovables de energía. Los más importantes se muestran en la siguiente tabla:



Medidas de eficiencia	Eficiencia/potencia	Ahorro energético
Sistema de frenos regenerativos	33% (referida a la energía perdida en el frenado)	Hasta 5-6%
Caja de cambios de varias velocidades	10-15% (sobre la eficiencia del motor eléctrico)	En torno a +10% de energía
Paneles solares (techo)	150W (tamaño normal)	+5/+6 km de autonomía cada 3 horas (clima soleado)

Tal y como se aprecia, dada la dependencia que la tercera medida tiene de las condiciones climáticas (así como el gran impacto estético que supone), hoy en día solamente las dos primeras medidas se presentan como aplicables a la hora de mejorar la eficiencia del vehículo. De hecho, todos los modelos incorporan el sistema de frenos regenerativos, y actualmente existen numerosos estudios e investigaciones que analizan la incorporación de cajas de cambio de varias velocidades para mejorar la eficiencia del motor.

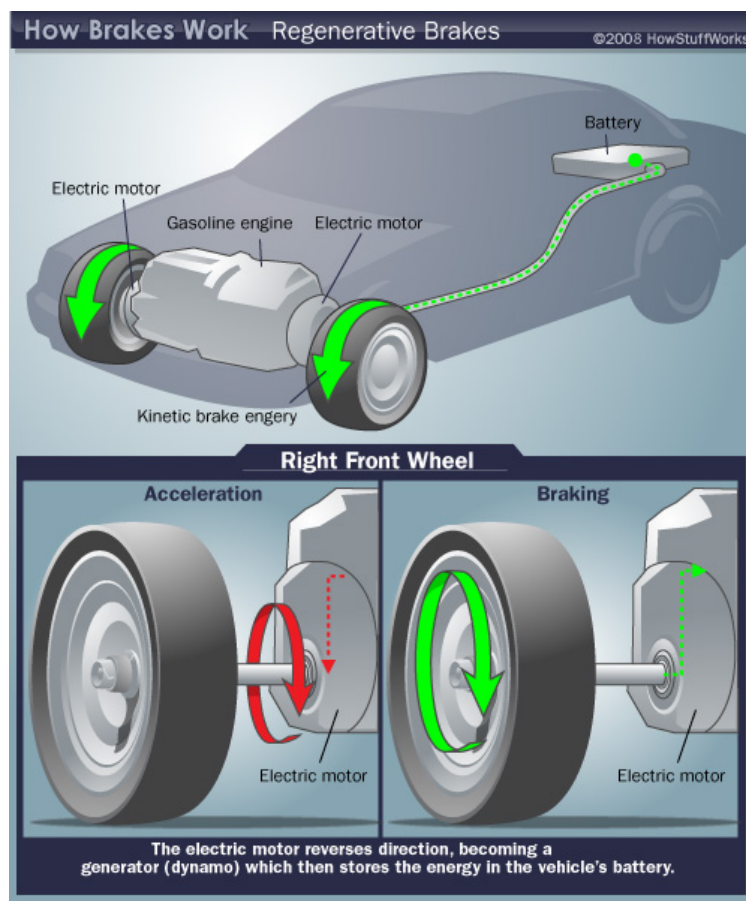
Por ello, para comprender claramente la eficiencia de un vehículo eléctrico, es necesario analizar el funcionamiento de estos sistemas.

Sistema de frenos regenerativos.

Un sistema de frenos regenerativos es un dispositivo encargado de transformar energía cinética en eléctrica. Mediante un par reductor, el dispositivo se encarga de ralentizar el vehículo, capturando la energía liberada por las fuerzas de inercia conforme el automóvil decelera. Este proceso es totalmente opuesto al sistema de frenado convencional, donde unas zapatas se encargan de liberar esa fuerza de inercia (en forma de energía cinética) a través de un rozamiento que transforma esa energía en calor que expulsa a la atmósfera (pérdidas de fricción).



En los vehículos eléctricos, el uso de frenos regenerativos implican el uso del motor eléctrico como alternador (generador eléctrico). Así, en estos modelos (tanto los BEV como los PHEV y HEV), a la hora de frenar el motor (ahora generador) recibe esa energía mecánica y la transforma en eléctrica que es enviada (a través de un conversor) a la batería, donde se almacena para su uso posterior.



Esquema de funcionamiento de los frenos regenerativos

Sin embargo, no es posible recuperar el 100% de la energía de las fuerzas inerciales de frenado. De hecho, este sistema presenta ciertas deficiencias que hace necesario la incorporación de un sistema convencional de frenado auxiliar mecánico para solucionar estos problemas.

El sistema de frenos regenerativos pierde eficacia a bajas velocidades; por lo tanto es necesario un freno de fricción para detener el vehículo completamente. Un sistema de freno de estacionamiento (freno de mano) es a la vez necesario para evitar el



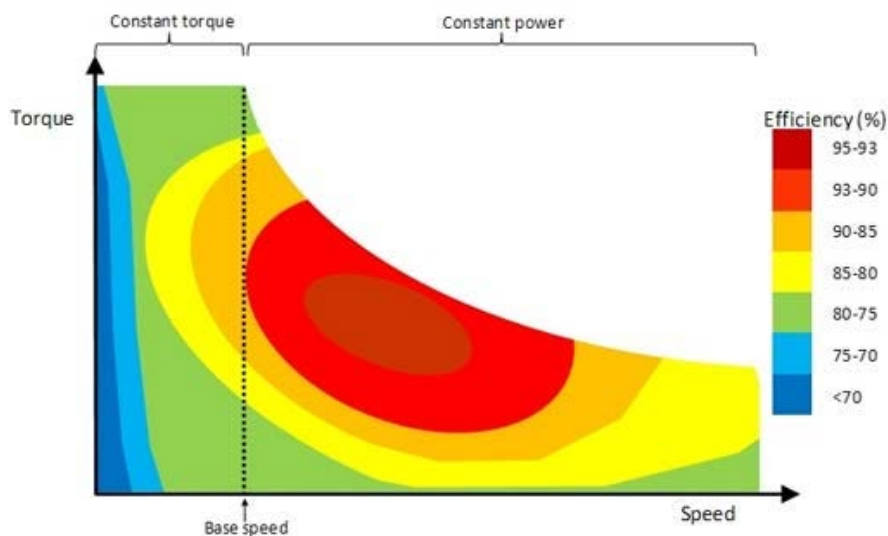
desplazamiento del vehículo cuando se apaga el motor. Además, el sistema de frenos convencional es necesario en caso de un eventual fallo del sistema de frenos regenerativos (los sistemas mecánicos son más fiables que los eléctricos)

Normalmente, excepto en el caso de vehículos de tracción total, el sistema de frenos regenerativos se instala únicamente en las ruedas motrices (eje delantero/trasero), con lo que solo la mitad de la energía de frenado se recupera. En este caso, un sistema de frenos convencionales se hace imprescindible en las ruedas no motrices (sobre todo en casos de condiciones dificultosas, como la conducción sobre mojado).

La cantidad de energía recuperable viene determinada por la capacidad/ritmo de almacenamiento de energía de las baterías o capacitadores o por el nivel de carga de las mismas. De este modo, si estos no son capaces de almacenar la energía proveniente de este proceso, es necesario disponer de un sistema de frenos de fricción para poder disipar ese exceso de energía en forma de calor.

Cajas de cambio de varias velocidades.

Como se ha visto previamente, los motores eléctricos son capaces de ofrecer unas prestaciones más que satisfactorias a cualquier velocidad con una única relación de cambio de velocidades (o “marcha”). De hecho, en ello reside una de las ventajas de estos vehículos: la comodidad o confort que supone eliminar ese “cambio de marchas” tan necesario en los modelos ICE/diesel. Sin embargo, esta ausencia de marchas supone una reducción de la eficiencia del motor (y, por lo tanto, un potencial de mejora en la autonomía de la batería). Por lo tanto, actualmente existen numerosos estudios dedicados a la incorporación de una de caja de varias relaciones en los vehículos eléctricos.



Mapa de eficiencia de un motor. Par-velocidad.

Ciertamente, el uso de esta tecnología mejoraría sustancialmente la eficiencia de los vehículos eléctricos, evitando pérdidas de energía y prolongando la autonomía de las baterías. Este fenómeno se explica por el hecho de que el motor tiene un rango de la curva par-velocidad en donde trabaja de manera más eficiente, tal y como apreciamos en la siguiente gráfica.

Así, los motores eléctricos alcanzan su máxima eficiencia en un limitado rango de velocidades. Sin embargo, dado el enfoque de los vehículos eléctricos (vehículo urbano, con constantes paradas y bajas velocidades), normalmente este tipo de automóviles se encontraran funcionando en zonas de la curva par-velocidad alejadas de la máxima eficiencia.

Lo cierto es que en la parte alejada de la zona de eficiencia máxima, el rendimiento del motor desciende de forma notoria, llegando niveles del 80% de eficiencia (frente al 95% de la zona óptima). Esto se produce, tal y como se ha explicado, a bajas o altas velocidades. Por todo ello, la opción de incorporar más relaciones de velocidades se presenta como atractiva a la hora de mejorar la eficiencia.

Con este método, se incorporarían nuevas curvas par-velocidad, y mediante un “salto” o “cambio” entre ellas se lograría mantener el vehículo en zonas de mayor eficiencia para cualquier régimen de giro.



Las ventajas de esta técnica son numerosas: este aumento de eficiencia, se traduce en un menor gasto de energía y por consecuencia en una mayor autonomía de conducción. Por otro lado, también ofrece la oportunidad de fabricar un pack de baterías más reducido o un motor más pequeño sin perder prestaciones, lo que abre un abanico de posibilidades para los fabricantes de automóviles.

Además, curiosamente este dispositivo aumenta el rendimiento de otro sistema de mejora de eficiencia: mediante la inclusión de relaciones de velocidades más “cortas”, el sistema de frenos regenerativos funciona mejor, con lo que la mejora de eficiencia se acentúa. La posibilidad de distintos perfiles de conducción (deportiva, urbana...) derivados de la gestión del cambio de marchas amplía el mercado destino de estos vehículos.

Recientes simulaciones muestran que simplemente con una caja de cambios de dos relaciones se lograría reducir la energía consumida por el motor en torno a un 5-10% (según el estándar New European Drive Cycle) sin un incremento significativo en relación al volumen de fabricación. Actualmente se está analizando de incluir una caja de cambios de tres relaciones, lo que aumentaría aún más la eficiencia.

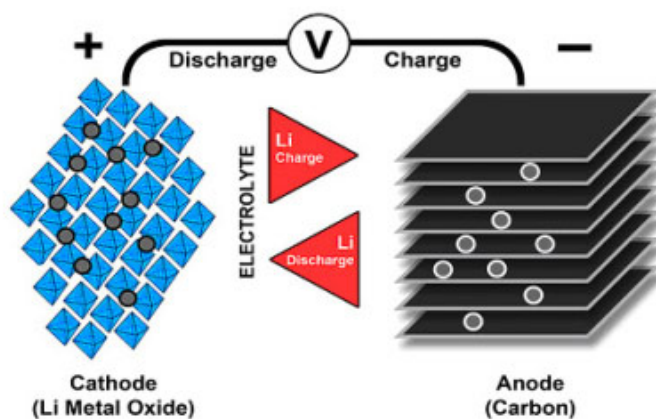
No obstante, esta técnica también acarrea ciertas desventajas. En primer lugar, (y aparte del ya mencionado contratiempo de confort que supone el cambio de marchas durante la conducción) tal y como ocurre en los modelos convencionales, la transmisión o caja de cambios constituye uno de los elementos más delicados y sensibles del vehículo. Así, la aplicación de esta técnica supondría un cierto aumento en el coste de fabricación. Además, la introducción de este nuevo elemento mecánico aumentaría el peso global del vehículo, por lo que parte de la energía ahorrada sería empleada nueva para el desplazamiento de este nuevo peso extra. Aún y todo, los avances en esta técnica así como la aparición de nuevos materiales más ligeros hacen de esta medida una opción interesante a seguir en un futuro próximo.

2.1.5.2 Batería de alto voltaje

Tal y como se ha comentado previamente, este componente constituye hoy en día el caballo de batalla del desarrollo de la tecnología del coche eléctrico. Ciertamente, se podía afirmar que la evolución de la tecnología de las baterías es determinante para valorar el éxito o fracaso de este nuevo modo de movilidad. Tal importancia cobra este elemento que sus avances en términos de capacidad y condiciones de carga abrirían la puerta a numerosas mejoras tecnológicas que no pueden salir al mercado debido a la baja autonomía que presentan. El futuro de la tecnología del vehículo eléctrico ciertamente depende de los próximos avances en esta materia.

A pesar de que se han valorado muchos modos de almacenamiento de energía (baterías convencionales, pilas de combustible...), hoy en día se puede confirmar que la mejor alternativa reside en las conocidas baterías de ion de litio (al menos a corto plazo, los fabricantes de automóviles apostarán por esta tecnología).

Por ello, la primera generación de automóviles eléctricos incorporarán este sistema de almacenamiento de energía. A pesar de que presentan notables inconvenientes (baja autonomía, peso y coste elevados), la verdad es que a día de hoy esta tecnología es la que mejor encaja con la definición de coche eléctrico.



Funcionamiento básico de una batería de litio

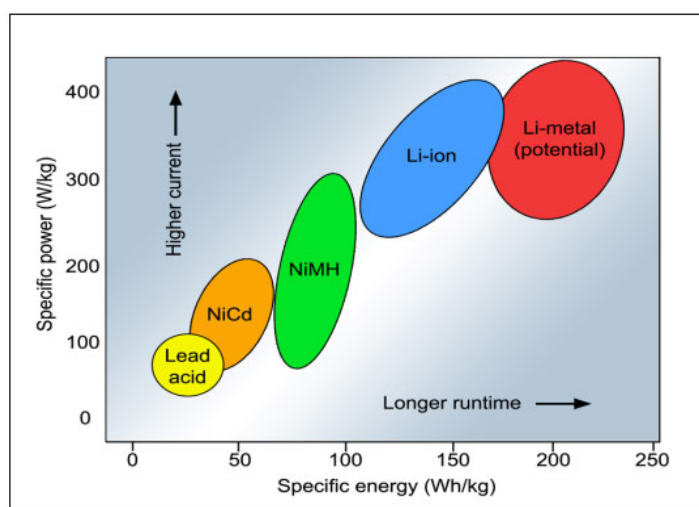
Su funcionamiento resulta bastante simple. Las baterías (o pack de baterías) están compuestas por multitud de celdas en la que se producen el proceso de carga y descarga de energía. En ellas, los iones libres (electrones) se desplazan entre el cátodo (electrodo positivo) y el ánodo (electrodo negativo) en el proceso de carga gracias a la energía



aportada por la fuente de alimentación externa, y residen ahí hasta que el motor se pone en funcionamiento. Entonces, los iones realizan el camino opuesto (proceso de descarga), liberando energía que se utilizará para desplazar el vehículo.

Ciertamente, las baterías basadas en iones de litio presentan numerosas ventajas frente a las baterías convencionales, basadas en metales más pesados, como las clásicas NiMH (níquel) o NiCd (níquel y cadmio). En primer lugar, ofrecen un nivel de energía específica mucho mayor, por lo que son capaces de almacenar más energía en menor espacio. Además, permiten mayores voltajes (hasta 3,8 V por celda), y evitan el molesto efecto memoria que reducía la capacidad de las baterías tras un determinado número de ciclos de carga-descarga.

Aún y todo, las baterías de litio están lejos de ser la solución definitiva al problema. Generalmente son mucho más costosas que las basadas en metales pesados, y su vida útil es más reducida. Además, su rendimiento baja de manera alarmante en ambientes muy fríos o cálidos.



Selección de materiales alternativos al litio

Para tratar de resolver estos problemas, recientes investigaciones han diseñado electrodos con nuevas combinaciones de metales (la mayoría basados en el litio) que mitigan estos problemas a la par que mejoran sus prestaciones.

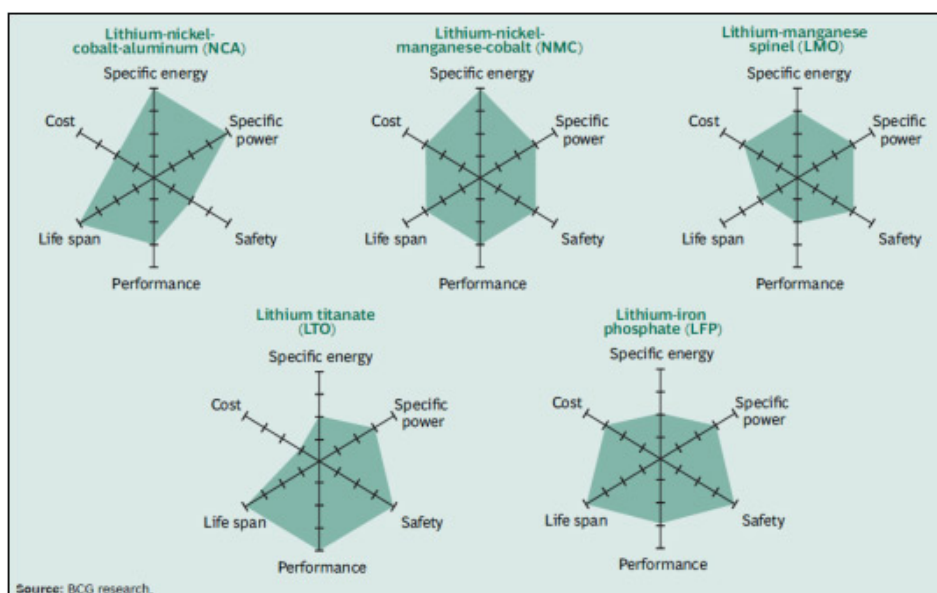
No obstante, ninguna de las alternativas puede considerarse como la mejor solución en términos absolutos. Ciertamente, las opciones que se centran en mitigar un determinado



problema inevitablemente descuidan otro. Una vez más, al igual que en el caso de la elección del tipo de motor a instalar, es necesario analizar una relación de compromiso para escoger la opción más adecuada.

Los principales aspectos a considerar a la hora de elegir un determinado componente son: seguridad, vida útil, energía específica, potencia específica, coste y adaptabilidad térmica.

Por lo tanto, es necesario comprender y analizar cada una de estas características antes de elegir un determinado material.



Diagramas de compromiso entre las seis características básicas

La seguridad es uno de los aspectos más importantes a la hora de elegir un componente. Circuitos de seguridad especialmente diseñados con robustos cerramientos eliminan virtualmente los riesgos de seguridad, pero la posibilidad real de un accidente grave siempre permanece presente. Una batería debe mantenerse en condiciones de seguridad incluso tras largos periodos de inactividad o tras agotar su vida útil.

La vida útil de una batería refleja el número de ciclos de carga-descarga que permite y su operatividad tras años de uso. La pérdida paulatina de eficiencia que presentan estas baterías a lo largo de los años es un reto a solucionar, especialmente en climas cálidos. Para compensar esta reducción de vida útil, los fabricantes de baterías aumentan el



tamaño de los packs de baterías para permitir cierto nivel de degradación sin afectar a la vida útil.

La **energía específica** muestra cuánta energía es capaz de almacenar por kilogramo de batería. En comparativa, una batería ofrece solamente un 1% de la energía que ofrece una cantidad de combustible equivalente en masa. Por ello, el volumen y peso de las baterías son enormes. Sin embargo, debemos recordar que el rendimiento de un motor eléctrico se sitúa en torno al 90%, mientras que en la mayoría de los motores ICE/diesel no supera el 30-40% de eficiencia. A pesar de esta diferencia, no obstante, la capacidad energética de las baterías de litio aún debe multiplicarse antes de poder competir con los motores de combustible.

Análogamente, la **potencia específica** es un indicador de la potencia que es capaz de entregar la batería por unidad de masa. Este aspecto es fundamental en cuanto a las características del vehículo a fabricar.

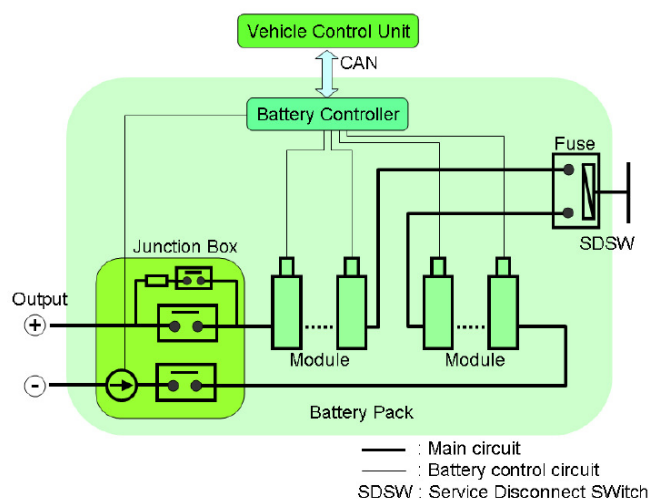
La **adaptabilidad térmica** refleja si la batería es capaz de funcionar correctamente en condiciones climáticas diversas, desde el tiempo caluroso veraniego hasta el clima invernal con temperaturas negativas. Dada su naturaleza, este factor generalmente afecta en gran medida a las baterías, por lo que los packs de baterías suelen incorporar sistemas de control de temperatura. En el caso de los modelos BEV, la energía destinada a este control térmico proviene inevitablemente de la propia batería.

El **coste económico** representa para los fabricantes el mayor problema. La necesidad de unos niveles de seguridad legales, dispositivos de gestión de la batería, el control térmico para el correcto funcionamiento de la misma y la obligada garantía de 8 a 10 años encarecen el ya de por sí elevado precio de fabricación. Solamente el precio de este componente representa una enorme fracción del precio de adquisición del vehículo (en torno al 50%).

Una vez elegido el material que mejor se adapta a nuestras necesidades, las celdas de batería son construidas. Normalmente cada celda ofrece una diferencia de potencial de unos 3,8 Voltios, por lo que se conectan en serie formando módulos, y éstos a su vez se conectan con otros tantos para lograr un nivel de potencial en torno a los 380 Voltios

que generalmente requiere el sistema para que el vehículo circule. Conceptualmente, las celdas se disponen dentro de la batería de la siguiente manera:

Packs Composition



Composición de los packs de baterías (celdas-módulos)

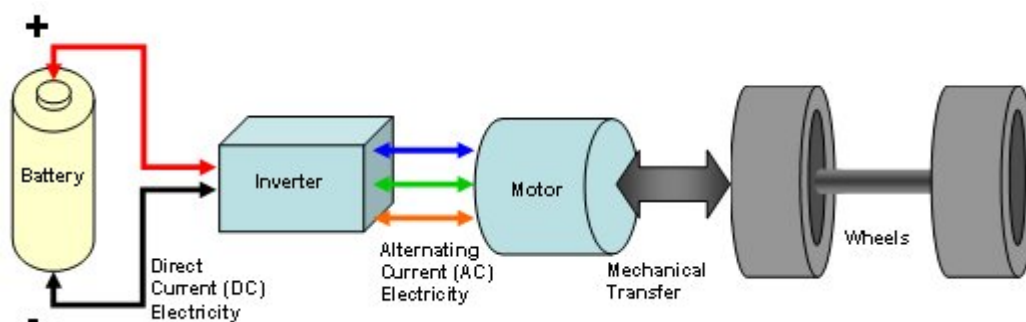
Otra cuestión a considerar relacionada con la batería es su localización dentro del vehículo. Debido a su elevado peso y volumen, gran parte de los fabricantes se han decantado por situarla en la parte inferior del vehículo, bajo el habitáculo, de modo que favorece la estabilidad del vehículo al hacer descender el centro de gravedad del mismo. Sin embargo, dependiendo de la localización del resto de componentes del automóvil, la batería puede situarse tras los asientos traseros, con el objetivo de lograr una mejor repartición de peso entre los ejes delantero y trasero. En cualquier caso, esta cuestión adquiere cierta relevancia pues la mayoría de los vehículos eléctricos incorporan packs de baterías con un peso medio de 250 kg, y su situación en el vehículo influye enormemente en el modo de conducción.

Por otro lado, los primeros coches eléctricos se diseñaron para incluir la opción de cambio rápido de baterías; esto solucionaría el problema relacionado con los largos períodos de tiempo que requiere la recarga completa de las baterías. En este caso, las baterías se dispondrían en un compartimento inferior de fácil acceso desde el exterior, para poder reemplazar el pack completo de baterías descargado por otro cargado en tiempo reducido. Sin embargo, debido a los riesgos de seguridad asociados con esta

constante manipulación de las baterías, así como problemas relacionados con la propiedad privada (realmente, se cambia la batería por otra de la que no se tiene información alguna de procedencia, anterior uso, etc.), esta idea no terminó de convencer a los fabricantes de automóviles, por lo que hoy en día todos ellos optan por el modelo de batería fija no intercambiable.

2.1.5.3 Electrónica de potencia

La presencia de un sistema de electrónica de potencia en los vehículos eléctricos responde a la necesidad de modificar la forma y características de los flujos de energía eléctrica entre los diferentes componentes del automóvil, para así adecuarla a las necesidades y requerimientos que cada uno de estos elementos (básicamente, la batería de alto voltaje y el motor eléctrico) presentan.



Esquema básico de un sistema de electrónica de potencia para un modelo HEV

Generalmente, está constituido por un dispositivo de carga, o conversor, y un inversor.

El dispositivo de carga de la batería, o conversor, está compuesto básicamente por un rectificador encargado de transformar la energía eléctrica proveniente de la fuente de alimentación externa (de forma general, la red eléctrica convencional) y un transformador para terminar de acondicionarla de modo que la batería sea capaz de almacenarla. Hoy en día, las características de la corriente eléctrica proporcionada por la mayoría de los suministradores eléctricos europeos corresponden a una corriente alterna monofásica de 230 V, mientras que las baterías únicamente son capaces de almacenar energía eléctrica en forma de corriente continua. De esta manera, el rectificador se encarga de convertir esa corriente alterna (AC) en corriente continua

(DC), para después enviarla al transformador, que eleva su voltaje hasta los 380 V requeridos por la batería para una recarga correcta.

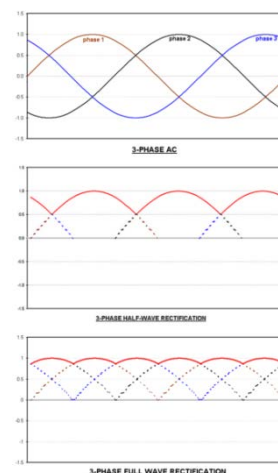


Imagen y principio de funcionamiento de un conversor

Por otro lado, ya hemos visto que en algunos casos, específicamente en los E-REV (REEV o RE BEV), muchas veces la fuente de energía que alimenta la batería es un motor de combustión interna o diesel asociado a un generador (generalmente de corriente trifásico de corriente alterna, por cuestiones de eficiencia), con lo que nuevamente se necesita de un conversor para adaptar esta corriente de salida del generador a los requisitos de carga de la batería.

De forma análoga, en el caso del sistema de frenos regenerativos, cuando la energía fluye desde el motor eléctrico (ahora, alternador) hacia la batería, un nuevo dispositivo conversor acondiciona la electricidad antes de llegar a la batería.

El otro componente fundamental del sistema de electrónica de potencia es el inversor. Este elemento está situado entre la batería de alto voltaje y el motor eléctrico, y su función es la de adaptar la energía proveniente de la batería a las necesidades del motor eléctrico. Tal y como se ha explicado, debido a las grandes cantidades de energía implicadas en el proceso, normalmente se utilizan motores síncronos de imanes permanentes alimentados por corriente alterna trifásica. Por lo tanto, el inversor es el

encargado de convertir la corriente continua en corriente trifásica alterna, del voltaje requerido por el motor en cada momento. Esta operación es extremadamente delicada, ya que debe proporcionar la corriente exacta (voltaje y energía exactos) que el motor requiere en cada momento para ofrecer una correcta respuesta acorde a las necesidades de la conducción (de forma general, un aumento en el voltaje suministrado se traduce en un aumento del régimen de giro del motor, y un aumento del amperaje, en un aumento del par motor proporcionado). Para ello, normalmente se instala una unidad de control que rige el funcionamiento del inversor para la correcta alimentación el motor (así, evita flujos erróneos de energía, por lo que favorece a una gestión más eficiente de la energía que se traduce en una mejor gestión de la autonomía de la batería).

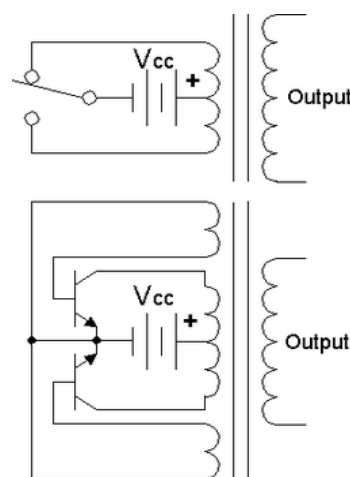


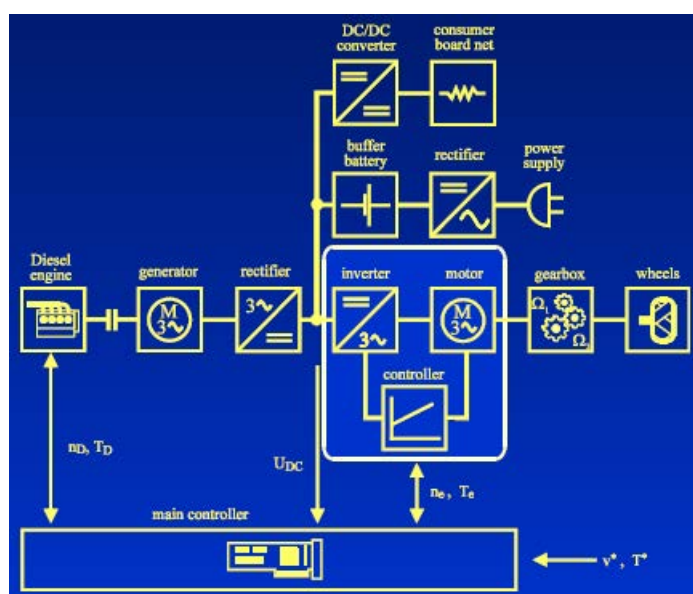
Imagen y principio de funcionamiento de un conversor

Debido a las altas pérdidas que se producen a la entrada del inversor, es habitual colocar un transformador DC/DC entre la batería y el inversor, de modo que se aumenta el voltaje del flujo, reduciendo de este modo las pérdidas en forma de calor (ya que la corriente disminuye) y permitiendo así un uso más eficiente del dispositivo. Este transformador DC/DC, también llamado DC booster, eleva la tensión de la corriente eléctrica proveniente de la batería desde los 380 hasta los 500 voltios, para después ser procesada en el inversor y salir en forma trifásica alterna, con el voltaje y amperaje requeridos por el motor. Como aspecto negativo, este alto valor de tensión puede resultar peligroso (riesgo de explosión o cortocircuito); por ello, el inversor debe estar suficientemente aislado y protegido contra posibles daños. Todo ello hace que la electrónica de potencia sea el componente más delicado del vehículo eléctrico.



Todo los procesos de transformación de corriente eléctrica están gobernados por un controlador central que, al igual que la ECU en los modelos convencionales ICE/diesel, regula y determina los flujos de energía en todo momento. En este caso, el controlador tiene en cuenta el nivel de carga de baterías y los requerimientos del motor en cada instante, y calibra y asegura el perfecto funcionamiento de todo el sistema.

En este diagrama se muestra un sistema de electrónica de potencia de cierta complejidad, en este caso el correspondiente a un modelo híbrido enchufable o PHEV. Como vemos, este modelo incorpora dos máquinas eléctricas; un generador conectado al motor diesel y un motor eléctrico encargado de la propulsión del vehículo. El primero de ellos está conectado mediante un conversor bien a la batería o bien directamente al sistema de propulsión central. Como vemos, el flujo de energía que alimenta el motor eléctrico, ya sea proveniente de la batería o directamente del generador diésel, atraviesa previamente el inversor, regulado a su vez por un controlador que recibe información del motor y del controlador central. De ahí, la corriente eléctrica ya transformada en energía mecánica en el motor eléctrico, a través del proceso reductor de la caja de cambio (de una única relación), al diferencial y de ahí a las ruedas, para desplazar el vehículo.



Esquema de un sistema de electrónica de potencia complejo (correspondiente a un PHEV)

Como puede apreciarse, todo el proceso es bastante complejo y delicado. Por otro lado, el estado actual de desarrollo de la electrónica de potencia sigue presentando ciertas



deficiencias. La más destacable sigue siendo la gestión de la corriente eléctrica a la hora de recarga de baterías, que a día de hoy sigue presentando unos tiempos de carga y descarga inaceptables para un vehículo convencional, constituyendo éste (junto a la escasa capacidad de las baterías) el principal cuello de botella del desarrollo de la tecnología del coche eléctrico.

Para solucionar estos problemas son necesarios avances en el campo de las nuevas tecnologías. No debemos olvidar que el desarrollo de la electrónica de potencia es relativamente reciente (década de los 90) y que por tanto ofrece mucho potencial de mejora. Los nuevos avances deben ser compatibles con la producción en masa prevista para este tipo de vehículos, y asegurar ciertas condiciones de fiabilidad y eficiencia. También se busca la reducción de costes (continúa siendo una técnica cara), peso y volumen. De todos estos retos, desde el punto de vista comercial, el coste es el aspecto más importante. Numerosas compañías tecnológicas trabajan conjuntamente con las firmas automovilísticas en el desarrollo y mejora de estos sistemas, y dada la evolución de esta tecnología en los últimos años, el panorama se presenta esperanzador.

2.1.6 Energía necesaria. Impacto sobre la red eléctrica.

Como se ha comprobado, la tecnología del coche eléctrico utiliza la energía de un modo mucho mas eficiente que los modelos convencionales ICE/diesel. Esto significa que se requiere una menor cantidad de energía para recorrer la misma distancia en las mismas condiciones. Sin embargo, a pesar de que comparativamente esta cantidad de energía es pequeña, lo cierto es que una eventual inclusión masiva de vehículos eléctricos en el parque automovilístico actual podría causar serios problemas en el sistema de distribución de electricidad, ya que éste no sería capaz de atender la enorme demanda de energía que supondría conectar simultáneamente a la red un número elevado de baterías: la red eléctrica doméstica se vería sobrecargada.

Uno de los principales problemas del vehículo eléctrico son los largos períodos de tiempo que requieren sus baterías para ser recargadas por completo. De hecho, con una conexión a red doméstica convencional, la potencia disponible (estandarizada a 3,3 kW en Europa) permitiría la carga completa de una batería media (24 kWh) en unas 7-8

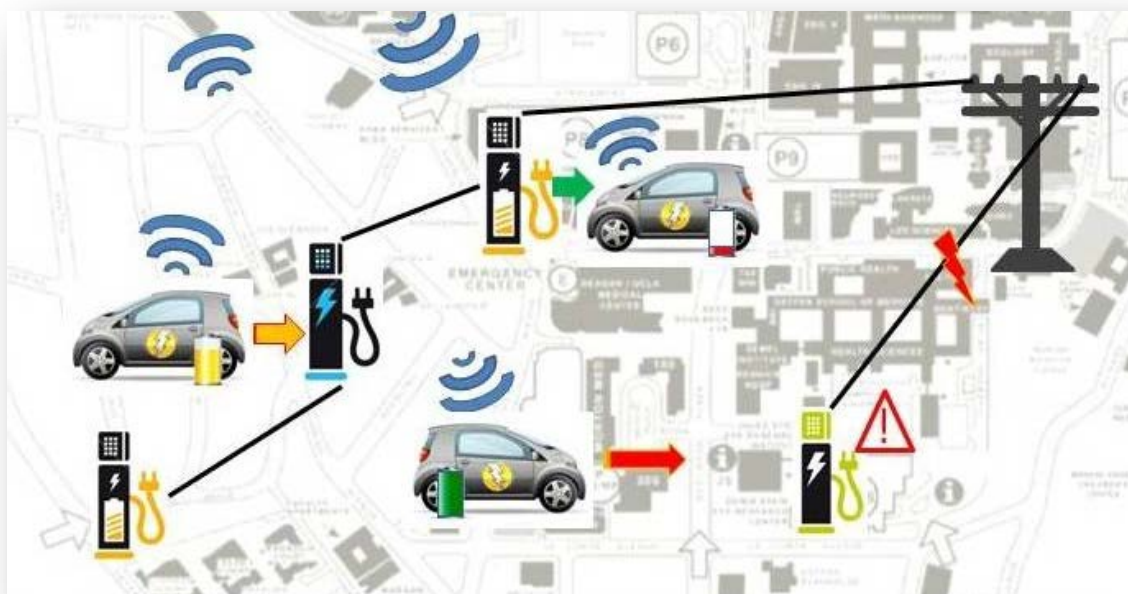


horas, siempre que, claro está, se utilice toda la potencia disponible, lo que implica largos tiempos de conexión a la red, por lo que la red se ve sobre-solicitada durante muchas horas. Para intentar evitar estos prolongados tiempos de recarga, se han instalado ciertos puntos de recarga especializados que, del mismo modo que una gasolinera convencional, sirven como puntos de recarga rápida dada las características de conexión que ofrecen. Así, ciertas instalaciones ofrecen potencias de conexión de 7'6 kW o incluso valores mayores, con los que es posible reducir notablemente los tiempos de recarga (disminuyendo hasta incluso a poco más de una hora para alcanzar el 80% de la capacidad de la batería).

Sin embargo, la demanda de energía en términos cuantitativos continúa siendo la misma, con lo que la red se ve frecuentemente sobrecargada, especialmente en horas punta, donde la energía disponible no solo ha de satisfacer los vehículos eléctricos en estado de recarga, sino también (y esencialmente) todas las necesidades domésticas e industriales de la sociedad, pudiendo alcanzar estas solicitudes de energía niveles críticos que pondrían en peligro la disponibilidad de energía de consumo.

Para evitar llegar a esta situación, deben tomarse ciertas medidas preventivas. En primer lugar, es enormemente recomendable recargar las baterías durante las horas nocturnas. En este período de tiempo, la actividad doméstica e industrial es mínima, con lo que apenas existe demanda de energía y no habría problema alguno de disponibilidad de energía eléctrica para la carga de baterías. Además, dada la autonomía de los vehículos eléctricos (160 km de media) es más que suficiente para desempeñar su función durante el día y posteriormente ser recargado de nuevo durante la noche. Además, la recarga de baterías durante el horario nocturno supone para el consumidor un ahorro económico, pues el consumo de energía eléctrica es más barato en horario nocturno.

Por otro lado, se han desarrollado nuevas tecnologías que permiten una gestión más eficiente de la energía de las baterías. Por ejemplo, recientemente se ha publicado una aplicación APP para Smart Phones que es capaz de monitorizar el estado de carga de las baterías, así como programar el horario de carga y descarga de la misma (evitando así horas punta y picos de demanda). Esta aplicación está teniendo gran éxito y la mayoría de los modelos eléctricos actuales la incluyen en su configuración.



Esquema básico del sistema Smart Grid

De cualquier modo, el mayor avance referido a sistemas de gestión de la energía es el proyecto denominado Smart Grid. Este sistema consiste en un modo especial de conexión del vehículo eléctrico con la red, de modo que se establece un vínculo inteligente entre ambos elementos (batería y red eléctrica), que no solo optimiza los tiempos de carga de las baterías, sino que establece una verdadera red de gestión de energía en el que los vehículos conectados pasan a convertirse en acumuladores de energía que dan servicio a la red en momentos de picos de demanda. Este flujo bidireccional de la energía eléctrica define un mapa eléctrico totalmente novedoso del que tanto la red como el usuario salen beneficiados.

A pesar de que todavía se encuentra en estado de desarrollo, se han depositado grandes esperanzas en esta tecnología, ya que la introducción de los vehículos eléctricos en el mapa de conexiones eléctricas no sólo no resultaría perjudicial en términos de demanda, sino que ofrecería nuevas oportunidades de mejora en la gestión de la energía así como un uso más eficiente de la misma.



2.2 Procesos de producción

La llegada del coche eléctrico va a suponer un profundo cambio en el concepto de la automoción. Como ya se ha analizado, conllevará una auténtica revolución en el diseño del automóvil, cambiando por completo el sistema de propulsión de los mismos. La inclusión de estos nuevos elementos eléctricos suponen, a su vez, profundos cambios en el proceso de producción de los automóviles, que con la llegada de esta nueva tecnología se ve profundamente afectado y que requiere de un rediseño completo para adaptar las instalaciones y herramientas presentes a esta nueva situación productiva.

Tradicionalmente, en el proceso de fabricación de un automóvil pueden distinguirse cuatro procesos productivos principales: prensas, carrocería, pintura y montaje final. Para analizar cómo va a afectar la llegada del coche eléctrico a la industria automovilística, es necesario previamente conocer en qué consiste cada uno de estos procesos.

2.2.1 Proceso de prensas.

La estampación y corte de las grandes piezas de la carrocería se lleva a cabo en el proceso de prensas. Aquí, mediante tratamientos térmicos y de presión, se lleva la pieza metálica primaria (ya cortada) al estado de deformación plástica y mediante un proceso mecánico una prensa con el troquel adecuado da a la pieza su forma final (capó, techo, etc.). Sin embargo, a pesar de su aparente simplicidad, este proceso conlleva un delicado estudio y análisis de las herramientas y utillaje a emplear, pues serán determinantes en la calidad de acabado final de las piezas. Además, la maquinaria utilizada requiere de un estudio exhaustivo para adecuarse de la mejor forma a las necesidades de la producción. Normalmente, la maquinaria empleada consta de prensas hidráulicas de gran tamaño y potencia, que incorporan troqueles con las medidas y corte determinados para la pieza en cuestión. Dependiendo del material empleado, la fuerza de prensado será diferente, el método de corte distinto, etc... Para evitar desperdicio de material, el espesor y tamaño de la pieza que entra en las prensas está minuciosamente definido. De este modo, cada pieza de cada modelo que se produce conlleva un complejo proceso de análisis para optimizar el proceso de estampación de la misma.



Básicamente, el proceso de prensa comienza con la llegada del material base a la fábrica. Normalmente se trata de bobinas o rollos de aluminio y acero proporcionados por los proveedores metalúrgicos y que llegan a fábrica con unas características de grosor, longitud y tratamiento térmico definidas. Una vez en fábrica, el proceso de estampación se puede desglosar en tres etapas: preparación de la materia prima, estampación de la misma y ensamblaje primario.

La preparación de la pieza consiste en la acción de corte del rollo de metal en pequeñas partes que se ajustan a las necesidades de material de cada pieza.

El proceso de estampación en sí comienza con un primer modelado de la pieza a producir. Para llegar a este estado semi-acabado, se utilizan métodos de pandeo o doblamiento. A continuación, la pieza pasa a la sección de prensas hidráulicas, donde mediante la acción de los troqueles ya adquiere la forma y características deseadas. Dadas las difíciles geometrías y los delicados acabados superficiales requeridos, el diseño de estos troqueles debe realizarse con gran precisión.

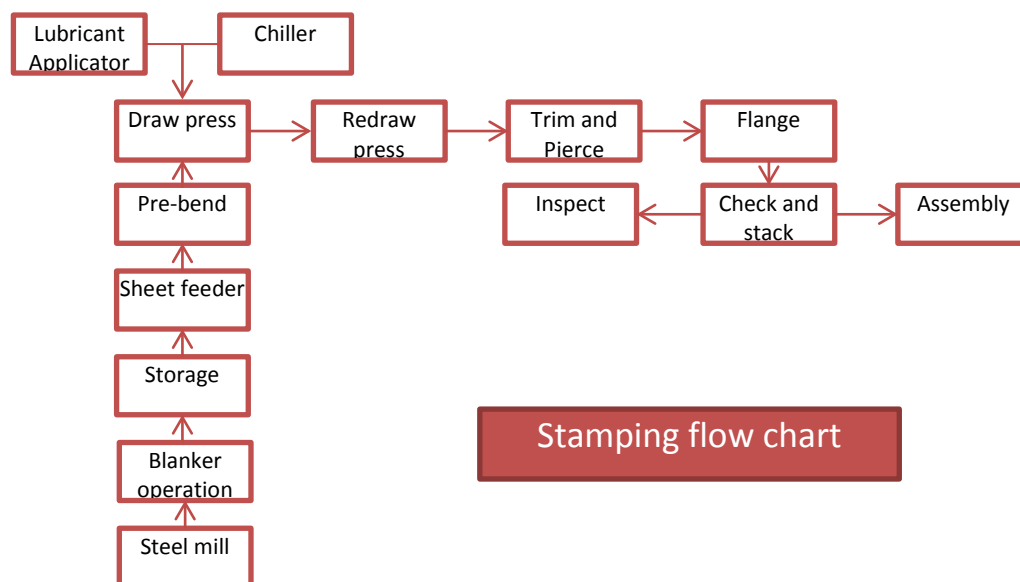


Diagrama de operaciones en el proceso de prensas



En determinadas piezas, la existencia de ciertos ángulos o geometrías hace imposible su estampación en un solo paso. Para ello, en la nave de prensas se dispone de maquinaria adicional (máquinas de punzonamiento, radiales, etc.) para darle a las piezas estas propiedades adicionales.

Ensamblaje primario: este proceso consiste en la unión de grandes piezas para formar el denominado Body in White, es decir, la estructura básica del habitáculo al que en el siguiente paso se soldarán los elementos móviles y resto de carrocería.

2.2.2 Procesos de soldadura. Carrocería.

Este proceso se centra en las actividades de soldadura que se llevan a cabo en la nave de chapistería. En resumen, en esta etapa las piezas procedentes de la nave de prensas son soldadas entre sí para definir la armadura o carrocería del vehículo final. Las principales actividades de este proceso son las siguientes:

Soldadura basada en la fusión de los componentes base. Generalmente se utiliza el método de soldadura por gas metal inerte (Metal inert gas, MIG) o tungsteno (tungsten inert gas, TIG), así como soldadura por resistencia o por puntos, dependiendo de las piezas a soldar. Para llevar a cabo este preciso proceso, prácticamente la totalidad de las actividades de soldadura son llevados a cabo mediante procesos automáticos o semi automáticos.



Robots de soldadura en VW Navarra, S.A.

Aplicación de adhesivos para la unión de ciertas piezas que no admiten soldadura. Generalmente se trata de elementos de interior de habitáculo, donde no existen



solicitaciones críticas que pudieran poner en peligro la unión. Dentro de estos elementos, la aplicación de masillas es la más extendida.

Tal y como se ha comentado, este proceso es posiblemente el más automatizado de la fábrica. La precisión que se requiere en la soldadura de las diferentes piezas hace necesario eliminar el riesgo humano mediante el uso de robots programados con un alto nivel de precisión en sus actividades. Hoy en día, el nivel actual de la tecnología hace que estos robots sean capaces de producir piezas con una calidad y precisión excepcionales.

2.2.3 Procesos de pintura.

A pesar de su aparente simplicidad, este es posiblemente el proceso más complejo y delicado dentro de todo el proceso productivo del automóvil. Generalmente se divide en dos fases.

En primer lugar, el cuerpo del automóvil o carrocería recibe tratamientos químicos que previenen al automóvil de agresiones externas, a la vez que preparan la superficie y la hacen más receptiva al proceso de pintado. Después, se le aplican los adhesivos de protección, las piezas protectoras de PVC y finalmente recibe la capa de color deseada y la capa de cera protectora.

La carrocería ya soldada llega a la nave de pintura desde la nave de chapistería, generalmente (como el presente en la planta de producción de VW Wolfsburg) mediante un sistema elevado de cadena compuesto por numerosos “enganches” o “pulpos” de los que cuelgan las carrocerías ya finalizadas. Una vez el cuerpo del vehículo entra en la nave de pintura, se le aplica una primera limpieza exhaustiva a base de agua y sustancias químicas que elimina los posibles restos y trazas remanentes del proceso de soldadura. Así, la superficie de la carrocería queda totalmente limpia, eliminando toda impureza o restos de material que pudieran ocasionar problemas posteriores, resultando una superficie uniforme y no conductora, así como resistente a la corrosión.

Una vez que la carrocería supera el proceso de limpieza, se sumerge todo el cuerpo en una piscina donde se lleva a cabo los procesos de cataforesis o KTL. En esta etapa, se aplica un determinado potencial eléctrico a la carrocería, de modo que actúa como un



gran imán que ayuda a disolver ciertas partículas eléctricas. Además, aprovechando esa carga eléctrica, se aplica una capa de partículas que se adhieren electrostáticamente a la superficie del vehículo y que sirven como primera capa protectora contra la corrosión. Dado que este proceso se lleva a cabo mientras la carrocería está totalmente sumergida, la capa se aplica sobre toda la superficie, incluso en lugares de difícil acceso, dotando a toda la estructura de esa protección anticorrosiva.

Después de la etapa de KTL, la carrocería se desplaza a la segunda fase del proceso, donde diferentes operarios aplican los adhesivos protectores o masillas antes de la aplicación del color. Así, elementos como techo, suelo o puertas quedan perfectamente selladas al exterior, impidiendo la entrada de fluidos (en este caso, la pintura, pero una vez acabado el vehículo, por ejemplo, la entrada de lluvia al interior). Posteriormente, la carrocería accede al taller de pintura donde recibe la capa de color deseado, según la elección del cliente. Hoy en día, este proceso está 100% automatizado, mediante precisos robots que aplican la cantidad exacta de pintura. Normalmente se pintan varias carrocerías seguidas del mismo color, para evitar las pérdidas de material y tiempo que supone cambiar y limpiar constantemente los depósitos de pintura de los robots.

Como esta etapa es la que tiene el mayor efecto visual, al terminar el proceso de pintado las carrocerías son llevadas a un punto de control donde se examinan minuciosamente en busca de imperfecciones visibles. En caso satisfactorio, finalmente se aplica la capa de ceras protectoras, antes de transportar la carrocería a la nave de montaje final.

2.2.4 Procesos de montaje.

La fase de montaje constituye la fase final del proceso de producción de un automóvil. En esta etapa se lleva a cabo el ensamblaje de la carrocería con los componentes internos y externos del vehículo. Una vez finalizado el tratamiento de la carrocería, ésta es transportada a la nave de montaje, donde se le añade una etiqueta especificando las características y componentes que el futuro vehículo incorporará (tipo de motor, elementos estéticos interiores y exteriores, extras...) dependiendo de las exigencias del pedido. De esta manera, a medida que el vehículo avanza por la línea de montaje, los operarios identifican rápidamente el modelo de automóvil a ensamblar.



De forma general, al comenzar la línea de montaje, las puertas de la carrocería se separan de la estructura y son transportadas a una línea independiente, por motivos de ergonomía y espacio, permitiendo a los operarios trabajar de forma más espaciosa y correcta. Las puertas son ensambladas en la línea independiente, para después regresar al final de la línea principal y ser incorporadas de nuevo al vehículo, ya prácticamente ensamblado.



Imagen de operación de montaje

Después de retirar las puertas, se instalan ciertos elementos exteriores e interiores básicos, antes de que la carrocería llegue a una de las estaciones más importantes y delicadas del proceso de montaje: el Fahrwerk. Aquí se lleva a cabo la unión del bastidor del vehículo (“suelo” o base que constituyen los ejes y soportes para motor y demás elementos mecánicos) con el motor y la carrocería, mediante el proceso llamado Hochzeit (boda). El bastidor es atornillado al cuerpo del vehículo con la ayuda de robots, ya que la operación requiere de unos parámetros muy concretos (y generalmente muy elevados) de par para asegurar la unión.

Finalmente, en el proceso de montaje se completa a través de varios grupos de montaje. Conforme el conjunto bastidor-carrocería avanza por la línea de montaje, los operarios van instalando las ruedas, asientos, salpicadero... para completarse finalmente con el llenado de fluidos (gasolina, anticongelante, aceite) antes de que el coche ya totalmente ensamblado abandone la línea, ya listo para ser comercializado.



Esta etapa constituye el proceso que requiere la mayor cantidad de mano de obra directa, siendo la nave que emplea al mayor número de personal de la fábrica. Del mismo modo, generalmente la nave de montaje es ampliamente la instalación de mayor tamaño del recinto.

Posteriormente al montaje final del vehículo, existe un espacio del recinto dedicado al denominado proceso de revisión final, donde operarios cualificados así como personal de calidad inspeccionan los vehículos ya ensamblados en busca de defectos o imperfecciones que proceden a reparar. No obstante, si todo el proceso se lleva a cabo de manera correcta, el trabajo de este taller se reduce al mínimo; desgraciadamente, esta situación dista mucho de la real, de aquí que este proceso tenga cierta relevancia dentro del proceso global.

2.2.5 Nuevos métodos de producción – vehículos eléctricos

La inclusión del vehículo eléctrico implica una verdadera revolución del proceso productivo. A pesar de que la mecánica general y gran parte de los componentes (a excepción, claro está, del sistema de propulsión) permanecen intactos con respecto a los modelos ICE/diesel, los fabricantes de automóviles se enfrentan con cambios importantes en sus procesos de producción. De hecho, los cambios no afectan únicamente a la parte relacionada con el sistema de propulsión, sino que también (y en muchos casos con gran repercusión) en aspectos como el diseño del nuevo coche, reorganización de elementos internos básicos o incluso la utilización de materiales totalmente nuevos en la estructura del vehículo.

Ciertamente, el principal cambio de esta generación de vehículos reside en el ensamblaje del nuevo sistema de propulsión. En términos generales, el motor de combustión interna o diesel se sustituye por uno eléctrico, la batería de alto voltaje ocupa el lugar del depósito de combustible y el sistema de electrónica de potencia reemplaza a la bomba de combustible. Obviamente, estas variaciones conllevan grandes cambios en las técnicas de montaje, así como nueva maquinaria industrial y un completo proceso de cualificación de personal. Así, la línea de montaje debe ser rediseñada, ya que la naturaleza y propiedades eléctricas de estos nuevos componentes pueden requerir una



redistribución de tactos de montaje (ciertos elementos no pueden ser montados en el lugar de ensamblaje de sus antiguos componentes equivalentes de los modelos ICE/diesel). De hecho, esta nueva redistribución de los tactos en uno de los estudios más importantes, para ajustar los nuevos métodos a los estándares de seguridad y ergonomía en el puesto de trabajo.

Sin embargo, otros aspectos a priori no tan relacionados también van a sufrir profundos cambios. En primer lugar, debido al elevado peso y volumen de las baterías y, por otro lado, las reducidas dimensiones del motor eléctrico han causado un nuevo diseño del interior del vehículo, con una nueva localización de estos componentes, con el objetivo de lograr una equilibrada distribución del peso del vehículo (entre los ejes delantero y trasero) y una conducción confortable y segura (cuanto más bajo sea el centro de gravedad del vehículo, más estable será la conducción del mismo), así como la seguridad y protección de estos componentes frente a agresiones externas. Estas necesidades han provocado que las compañías elijan entre dos estrategias de diseño del vehículo, el diseño de conversión y el diseño de propósito, que se estudiarán en el siguiente capítulo.

Finalmente, hay que resaltar que el coche eléctrico tiene una imagen pública de un vehículo ecológico, con lo que es muy importante para la imagen de la empresa apostar por fuentes de energía renovables y demás programas ecológicos involucrados en la producción del vehículo. De este modo, todo el proceso de obtención de materia prima, así como la gestión de reciclaje y pérdidas innecesarias de material se deben llevar a cabo de forma ecológica, sin generar residuos ni gases contaminantes. El vehículo eléctrico es hoy en día considerado como el vehículo zero-emission (emisión nula de gases contaminantes), con lo que la producción debe estar acorde a dicho renombre.

Muchas de las principales compañías ya han tomado decisiones al respecto. Por ejemplo, la compañía automovilística alemana BMW ha asentado una alianza con el productor norteamericano SGL Carbon, por la cual éste le proporciona fibras de carbono que se fabrican en la nueva fábrica de la compañía en Moses Lake, EEUU, que funciona de manera totalmente sostenible, es decir, toda la energía que consume es generada por un parque de molinos eólicos anexo que le proporciona el 100% de la energía que su producción requiere, además del uso de un alto porcentaje de materiales reciclados en su proceso productivo.



2.2.6 Transporte y gestión de componentes electrónicos

La inclusión de estos nuevos componentes eléctricos a lo largo del proceso de producción ha originado a su vez un cambio en el concepto de logística en la industria automovilística. Dentro de la fábrica, el espacio distribuido alrededor de la línea de montaje debe albergar estos nuevos componentes, con lo que toda el sistema logístico debe ser rediseñado.

Incluso en el caso de las marcas más potentes que adoptan el principio de just-in-time o incluso just-in-sequence (con lo que supuestamente no se requiere de grandes espacios de almacenamiento), siempre es necesario un pequeño espacio donde las piezas y componentes que van a ser ensamblados aguardan su turno a ser ensamblados, con lo que esta nueva distribución logística de la nave debe ser objeto de estudio.

Otro aspecto importante que debe ser analizado es el transporte de estos nuevos componentes. Como todos los dispositivos electrónicos (motor eléctrico, batería y sistema de electrónica de potencia) están diseñados para trabajar con altos valores de tensión y corriente, es extremadamente necesario sensibilizar a la plantilla de trabajadores sobre la peligrosidad que conlleva un mal manejo de estos componentes, especialmente a la hora de conectar unos con otros. De hecho, tal y como se ha explicado en el capítulo de las baterías de alto voltaje, estos dispositivos no deben ser almacenados totalmente descargados (con el objetivo de no mermar sus capacidades eléctricas), con lo que las baterías llegan a la nave de montaje con cierta precarga, por lo que es obligatorio concienciar al personal de la línea de montaje de la importancia del manejo y manipulación correctos de estos aparatos. En el mismo sentido, es también importante que estos componentes sean transportados de manera adecuada y segura dentro de la nave de montaje, ya que, por ejemplo, las baterías son aparatos muy delicados y un mal transporte podría causar daños severos a un componente tan importante y caro.

De esta manera, todo ello conlleva un importante proceso de cualificación y formación de personal – con el coste que esto significa.

En cuanto a la logística externa, la tecnología del coche eléctrica cambia totalmente el mapa de relaciones con proveedores que se tenía con los modelos ICE/diesel. Nuevas



compañías, especializadas en dispositivos electrónicos, han surgido como candidatas y hoy en día todas las marcas automovilísticas han establecido un acuerdo de colaboración con al menos una de estas empresas, centrando sus investigaciones en muchos casos en el desarrollo y mejora de la tecnología de las celdas de batería de alto voltaje. Tal y como ocurre en los procesos logísticos actuales, la localización geográfica del proveedor debe ser tomada en cuenta (especialmente por parte de factorías americanas o europeas), y con mayor énfasis con la llegada de este nuevo modelo de automoción, ya que la mayoría de estas compañías electrónicas se encuentran situadas en el este asiático (Japón, Corea), muy lejos de las plantas de producción donde los primeros modelos eléctricos van a ser ensamblados. Esto implica problemas adicionales (aparte, claro está, del alto coste asociado al transporte de componentes), ya que, tal y como se acaba de explicar, las baterías no deben permanecer largos períodos inactivas, ya que esto podría repercutir negativamente en su capacidad eléctrica. Para resolver este problema, actualmente la mayor parte de las compañías electrónicas únicamente preparan las celdas de batería pero no las rellenan con el necesario fluido electrolítico (como se vio en el apartado de las baterías, la vida de una batería comienza cuando se añade el fluido electrolítico y comienza el flujo de iones entre el electrodo positivo y negativo); lo envían de forma separada a las plantas de producción, donde terminan de ensamblar estos packs de baterías justo antes de ser montadas en el vehículo, evitando así el citado problema.

Además, algunas compañías electrónicas han planificado abrir nuevas plantas de producción en las cercanías de las factorías automovilísticas, en Europa y América, con el objetivo de reducir costes de transporte así como un mejor soporte y calidad del producto final. Por ejemplo, la alianza Nissan-Renault tiene previsto comenzar en 2012 el ensamblaje de baterías en dos plantas construidas en el Reino Unido y Portugal.

Por otro lado, aparte de estos componentes electrónicos, algunos de los nuevos modelos de vehículo eléctrico serán contruidos con materiales totalmente nuevos (generalmente se tratará de polímeros de fibra de carbono reforzada en las piezas de carrocería). Así, aparecerán nuevas relaciones comerciales con empresas productoras de este tipo de materiales. En este caso, el ejemplo más claro pertenece al caso de la marca alemana BMW, que ha establecido una joint-venture con el fabricante SGL Carbon,



con el objetivo de desarrollar un material más ligero y resistente que será usado en las carrocerías de los modelos eléctricos futuros de la marca.

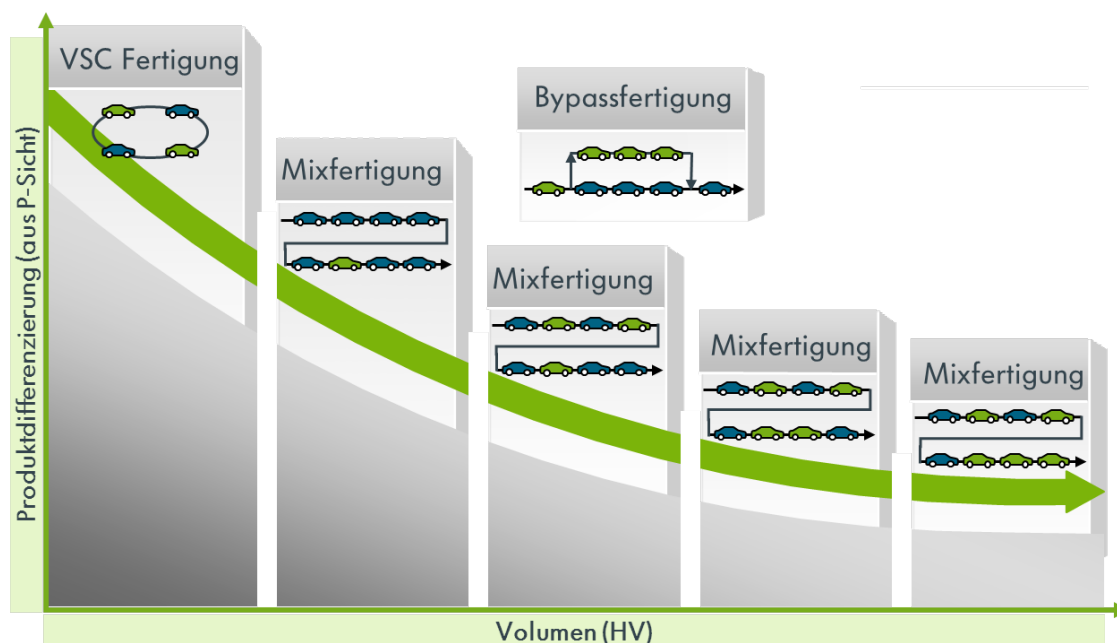
2.2.7 Estrategia de producción: diseño nuevo o de propósito frente a diseño de conversión.

Todos los cambios comentados han provocado que los diseñadores de vehículos tengan que adoptar una de las dos medidas que se presentan: emprender un diseño totalmente nuevo del vehículo o llevar a cabo un diseño de conversión desde un modelo ICE/diesel ya existente. En función del grado de diferenciación del vehículo eléctrico que se desea producir, el equipo de diseño elegirá la estrategia que mejor se adapte a su caso.

En primer lugar, la opción más conservadora es la conocida como estrategia de diseño de conversión. En ella, los vehículo eléctricos están basados en modelos ya existentes ICE/diesel, hasta el punto de que los cambios entre ambas versiones se limitan exclusivamente al sistema de propulsión (se conservan intactos, pues, los procesos de prensas, carrocería y pintura). Por este motivo, esta pequeña variación se suele solventar en la nave de montaje con la instalación de un tramo de línea auxiliar (línea de by-pass) para los tactos de montaje del sistema de propulsión, manteniendo el resto de la línea común para ambos modelos. Otro tipo de estrategia de montaje final del vehículo de diseño de conversión es denominada estrategia de montaje mixto.

La estrategia de montaje mixto: consiste en ensamblar dos modelos diferentes de vehículo (en este caso, la versión eléctrica y la versión ICE/diesel) en la misma línea de montaje. Como las diferencias entre ambos modelos son mínimas (diseño de conversión), la mayoría de los tactos de montaje permanecen intactos, pero en estaciones determinadas (por ejemplo, el fahrwerk), la nueva diferenciación hace necesaria una doble cualificación por parte del personal encargado, ya que debe de ser capaz de ensamblar los dos tipos de vehículos. Del mismo modo, en estos tactos el espacio logístico debe ser duplicado para albergar ambos modelos de componentes (aunque con el elevado nivel de secuenciación y el sofisticado principio de just-in-time empleados en la mayoría de las grandes compañías, este espacio es cada vez menor).

Línea auxiliar o de Bypass: esta medida está considerada como una solución extraordinaria cuando el montaje mixto no es posible a lo largo de toda la línea de montaje. Esta medida se aplica cuando el vehículo llega a las estaciones de montaje en las que el montaje ambos modelos (eléctrico y convencional) son tan diferentes que no pueden ser llevadas a cabo en el mismo tacto. Así, en este punto, se instala un tramo de línea adicional, de forma que los vehículos tomarán un vial u otro en función de sus características. Tan pronto como esa actividad incompatible es realizada, ambos viales se vuelven a unir, respetando el flujo de vehículos anterior, y ambos modelos continúan por la línea común, donde nuevamente pueden ser ensamblados de igual manera.



Obviamente, la principal desventaja de esta medida son los elevados costes relacionados con la instalación de la línea adicional; no solo los costes estructurales (nuevo tramo de cadena, maquinaria, herramientas...) sino también el coste logístico que supone el espacio ocupado por esta nueva línea. Además, el personal debe ser duplicado (aunque el ritmo de flujo de vehículos se reduce en cada línea). Como estos costes incrementan notablemente los gastos globales, esta medida solo se adopta cuando no hay alternativa viable posible (por ejemplo, cuando no hay tacts libres a lo largo de la línea donde esas diferencias pudieran ser solucionadas).



En cualquier caso, ambas estrategias se basan en el hecho de que ambas versiones (eléctrica y convencional ICE/diesel) son muy similares, y sus procesos de montaje (excepto en las citadas ocasiones) permanecen iguales para ambos casos. Es decir, son aplicables cuando el diseño escogido para el vehículo eléctrico es el diseño de conversión.

Por otro lado, el diseño de propósito implica una verdadera revolución en el diseño del automóvil, así como en su proceso de producción. Materiales y técnicas innovadores son implementadas, por lo que generalmente las instalaciones actuales (prensas, robots y maquinaria, línea de montaje...) no son compatibles con esta nueva generación de vehículos, con lo que o bien el fabricante construye una nueva línea de proceso paralela a la convencional o bien emprende la construcción de una planta de producción totalmente nueva y optimizada para este nuevo modelo.

Realmente, el término de diseño de propósito también puede ser atribuido a aquellos casos en que el nuevo vehículo, aun manteniendo intactos la mayoría de sus procesos de producción, presenta un diseño estético nuevo y diferente a los existentes. En tal caso, el modelo sí que podría compartir los recursos de producción de los vehículos convencionales (mediante las estrategias explicadas anteriormente), con cambios únicamente en el diseño de la carrocería. Sin embargo, esta situación no es muy común, ya que el diseño de un nuevo coche eléctrico normalmente trata de incorporar nuevas técnicas y materiales que no son compatibles con las instalaciones disponibles.

La mayoría de estos cambios están dirigidos a reducir el peso del vehículo. Tal y como se ha explicado, hoy en día el componente más voluminoso y pesado de los vehículos eléctricos es la batería. Esto, añadido al hecho de que cuanto más ligera es la carga a desplazar, menor será el consumo de energía por parte del automóvil (y por tanto, mayor su autonomía), ha provocado que los fabricantes de automóviles hayan destinado muchos recursos a la investigación de nuevos materiales más ligeros pero a la vez seguros para las carrocerías de estos nuevos modelos. En esta línea, en los modelos de diseño de propósito, la carrocería del automóvil está compuesta en gran medida por aluminio (metal de propiedades de resistencia similares a la del acero, pero hasta tres veces más ligero), e incluso contará con partes fabricadas con nuevos materiales compuestos como los polímeros de fibra de carbono reforzada (CFRP, del inglés carbon fiber reinforced polymer), que presenta unas extraordinarias características de



resistencia y seguridad (mayores incluso que las del acero), a la vez que un peso mucho más ligero. Obviamente, estos materiales poliméricos no pueden ser tratados de igual manera que los metales o aleaciones metálicas, con lo que los procesos de prensas, carrocería y pintura deben ser rediseñados completamente.

En el proceso de montaje, por otro lado, la oportunidad de rediseñar de forma completa la línea de montaje, así como la distribución de los tactos de montaje, ofrece la posibilidad de una optimización del proceso, donde el cálculo de tiempos y métodos se realiza en base a la producción del vehículo eléctrico, por lo que se convierte en un proceso mucho más eficiente que el seguido en el caso de diseño de conversión.

Sin embargo, es evidente que todas estas nuevas instalaciones implican enormes inversiones de dinero, por lo que actualmente (con la difícil situación económica mundial), es complicado para las compañías abordar un proyecto de tamañas dimensiones (a pesar de que, como hemos visto, es más eficiente con lo que es beneficioso a largo plazo). Además, requiere de una elevada producción desde la apertura de la línea para ser viable económicamente. Dado que la tecnología del coche eléctrico es algo muy novedoso y no existen todavía análisis de mercado que aseguren cómo va a actuar el mercado frente a esta situación, generalmente los fabricantes de vehículos han decidido no tomar este importante riesgo, por lo que la estrategia dominante continúa siendo el diseño de conversión. Únicamente unos pocos fabricantes han apostado decididamente por esta estrategia, entre los que destaca BMW con sus modelos i-series (i3 y i8).

En el siguiente cuadro se recogen las principales ventajas y desventajas que los fabricantes encuentran al escoger una de las dos estrategias explicadas.



Diseño de conversión	Diseño de propósito
Pequeños cambios con respecto al modelo de producción actual	Concepto de producción totalmente nuevo
Resultados a corto plazo	Resultados a largo plazo
Bajo coste inicial	Altos costes de instalación
Línea de producción compartida	Línea de producción única y óptima
Montaje mixto/bypass	Nueva línea de montaje
Aplicación de técnicas conocidas	Nuevos materiales y tecnologías
Nivel de riesgo para la compañía: bajo	Nivel de riesgo para la compañía: alto

Como se puede observar, ambas estrategias presentan puntos fuertes y puntos débiles, que el fabricante debe evaluar antes de tomar una decisión final.



3. Comparativa

El principal objetivo de este proyecto es proporcionar una visión general de la situación actual del mercado de los coches eléctricos. Desde hace algunas décadas, muchos fabricantes de vehículos han desarrollado sus propios prototipos de coche eléctrico, pero no ha sido hasta estos últimos años cuando esta tecnología ha tomado cierta relevancia, hasta el punto de convertirse en un potencial de mercado real. Desde el lanzamiento del primer automóvil híbrido producido en masa, el Toyota Prius en 1997, la mayoría de los fabricantes de automóviles de todo el mundo han testeado sus propios modelos y hoy en día están a punto de lanzar al mercado las primeras versiones eléctricas.

Tal y como se ha explicado, todos los modelos eléctricos están basados en una misma tecnología, donde el motor IC/diesel, el depósito de gasolina y la bomba de combustible son reemplazados por un motor eléctrico, una batería de alto voltaje y un sistema de electrónica de potencia, respectivamente.

Sin embargo, a pesar de que este sistema de propulsión puede parecer simple, existen numerosas diferencias entre cada modelo que necesitan ser analizadas. Localización de los componentes eléctricos, los diferentes materiales base empleados o pequeños cambios en el proceso de ensamblaje pueden parecer poco influyentes en el producto final; no obstante, sí influirán en gran medida el funcionamiento y modo de conducción del vehículo en el futuro.

3.1 Principales modelos y marcas de vehículos eléctricos.

A pesar de que continúan representando un porcentaje bajo de todo el parque automovilístico actual, los primeros modelos de coche eléctrico ya se encuentran en el mercado. Estas primeras unidades son en su mayoría modelos urbanos, compactos, ya que de esta manera se logra compensar el alto peso de los componentes eléctricos, logrando así un nivel de autonomía aceptable (como hemos visto, el peso del vehículo influye negativamente en la duración de la autonomía de la batería). Estos vehículos están enfocados claramente a un uso urbano, ya que incluyen baterías de (relativamente) poca capacidad,, que proporcionan la energía necesaria para cubrir las



necesidades diarias de la mayor parte de los usuarios, pero que requieren ser recargados nuevamente cada noche. Su introducción en el mercado está siendo bastante lenta, por lo que las primeras compañías que han lanzado sus modelos eléctricos han optado por la opción más segura: el diseño de conversión.

Sin embargo, algunas marcas ya han experimentado con esta técnica y han desarrollado incluso modelos deportivos eléctricos (Tesla Roadster), que ofrecen unas características de conducción impresionantes. Esto rompe con la creencia de que los coches eléctricos nunca podrán competir con los modelos convencionales en términos de potencia y prestaciones.

Es importante remarcar que la mayoría de los primeros modelos eléctricos son ensamblados en pequeñas series de producción (de hecho, muchas veces son planificados únicamente como flotas comerciales), por lo que no es posible todavía analizar el verdadero efecto comercial hasta que se comiencen a producir series en masa. No obstante, algunos de ellos ya están disponibles para la venta pública, y a pesar de que las cifras de ventas continúan siendo reducidas (debidas, en gran manera, al alto precio de adquisición, a pesar de los numerosos programas de ayuda por parte de los gobiernos e instituciones públicas), está previsto que estos niveles aumenten en los próximos años.


En este capítulo se repasará una serie de modelos eléctricos ya disponibles (o previstos en poco tiempo) en el mercado. Desde el primer Toyota Prius hasta el reciente Nissan Leaf, se compararán algunos de los modelos actuales y futuros y se analizarán sus características técnicas y propiedades.

3.1.1 Modelos eléctricos representativos

A continuación se procederá a presentar una selección de vehículos eléctricos que por sus características o por el impacto social que supuso su lanzamiento merecen un reconocimiento aparte. Se trata de verdaderos referentes en el campo de la tecnología del coche eléctrico, y ciertamente muchos de los modelos en desarrollo se encuentran fundamentados y siguen las directrices marcadas por ellos. Concretamente, centraremos

nuestra atención en 5 modelos: Toyota Prius, Nissan Leaf, Mitsubishi i-MiEV, Tesla Roadster y BMW i3.

Toyota Prius

Toyota Prius Hybrid edition	
	
Car body	5-seats, 5 doors, Limousine
E-Motor	Permanent magnet AC synchronous motor
Torque (E-motor)	207 Nm
Power (E-motor)	60 kW
Battery	NiMH battery, 6,5 Ah, 274 V
Acceleration	0-100 km/h: 9,8 s
Top speed	180 km/h

Considerado como el primer coche eléctrico de nueva generación, el Toyota Prius fue el primer modelo de vehículo que incorporaba un sistema de propulsión eléctrico auxiliar que ayudaba en ciertas funciones al motor diesel principal, especialmente en fases de aceleración o cuando las condiciones de la conducción varían (inclinación, rampas, etc.). Realmente, como vehículo híbrido, la influencia del sistema eléctrico es más bien limitada en el modo de conducción (desde luego, no puede ser comparado con los más recientes modelos eléctricos puros o BEV), pero el gran impacto que supuso el




lanzamiento de este tipo de vehículos hizo que este modelo de la marca japonesa sea considerado como el referente principal y pionero en la tecnología del coche eléctrico.

Por otro lado, desde el lanzamiento de su primera versión (en el año 1997), Toyota ha continuado desarrollando el modelo con el objetivo de adaptarlo a las nuevas técnicas que han ido surgiendo. Así, tras una segunda versión del modelo (también híbrida), actualmente la compañía está desarrollando la tercera generación del modelo, “Prius: third generation”, que consistirá en un modelo híbrido enchufable (PHEV), de mayores niveles de eficiencia y con una mayor relevancia del sistema eléctrico de propulsión.

Nissan Leaf

El pasado año 2010 se lanzó al mercado el último modelo del grupo “L’Alliance”, formado entre Renault y Nissan, el modelo japonés Nissan Leaf. Este automóvil no está basado en ningún modelo anterior de la marca, por lo que podría ser considerado como diseño de propósito, pero tiene muchas características en común con el modelo Nissan Juke, compartiendo incluso la misma línea de montaje (junto, además, con el modelo de mini-SUV Nissan Cube) en la planta japonesa de Oppama, donde el Nissan Leaf es ensamblado y desde donde es enviado al resto del mundo para su comercialización. Por tanto, se usa un modelo de montaje mixto.



Nissan Leaf	
	
Car body	5-seats, 5 doors, Limousine
E-Motor	Three-phase permanent magnet synchronmotor, front propelled
Torque	280 Nm from 0-2730 rpm
Power	80 kW
Battery	Lithium-Ion battery, 192 cells, 24 kWh
Acceleration	0-100 km/h: 11,9 s
Top speed	144 km/h
Driving Range	160 km

En este sentido, como los cambios no son tan pronunciados (a pesar de que se trata de un vehículo eléctrico puro), se puede considerar como diseño de conversión, ya que su fabricación no supone una revolución en el concepto de producción de automóviles, ya que fundamentalmente conserva la mayoría de técnicas y métodos productivos de los modelos convencionales.



Sin embargo, la importancia de este modelo radica en el hecho de que el Nissan Leaf fue el primer modelo eléctrico fabricado en masa, con una serie de producción de gran tamaño, con un gran número de unidades fabricadas. Esta fuerte apuesta por parte de Nissan, en un panorama en el que los primeros modelos eléctricos se fabricaban en series muy limitadas, permitió reducir el coste de fabricación y posibilitar así la adquisición del vehículo a un público más extenso.

Tras su SOP, en octubre de 2010, el Nissan Leaf fue comercializado inicialmente en Japón y EEUU, para meses más tarde introducirse en el mercado europeo. A pesar de que la previsión de ventas iniciales era reducida, la gran demanda de unidades de este modelo ha provocado que la compañía haya decidido abrir nuevas plantas de producción en EEUU y Reino Unido en el próximo año. Por otro lado, para satisfacer las necesidades de producción, también está prevista la apertura de una factoría de ensamblaje de baterías en Portugal.

Como resultado, el modelo Nissan Leaf ha recibido el prestigioso premio “Coche del año 2010” (Car of the Year 2010), otorgado por las principales instituciones del sector automovilístico, lo que nuevamente demuestra el gran impacto social que ha tenido el lanzamiento de este modelo.

Mitsubishi i-MiEV / Peugeot iOn / Citroën C-zero

La joint-venture formada por el grupo francés PGA (Peugeot-Citroën) y la marca japonesa Mitsubishi también ha lanzado al mercado su primer modelo eléctrico. Completamente basado en el anterior modelo de motor de combustión de la compañía, el Mitsubishi i, esta nueva generación i-MiEV constituye un modelo eléctrico puro de reducidas dimensiones pensado para la ciudad. Ofrece unas prestaciones y potencia limitadas, pero suficientes para un uso diario urbano. Su reducido tamaño lo hace idóneo para una conducción ágil y cómoda, permitiendo a su vez en términos de autonomía pequeños trayectos interurbanos.


Como se ha comentado, se trata de un modelo basado en la conversión del modelo de gasolina Mitsubishi i, y su ensamblaje se lleva a cabo en la misma planta de producción, siguiendo un modelo de montaje mixto.



La importancia que tiene este vehículo en el sector de la automoción eléctrica radica en que su lanzamiento supuso el primer vehículo eléctrico puro diseñado por una de las principales marcas de automóviles (Mitsubishi).

Por otro lado, en su comercialización en Europa, el mismo modelo es producido por las compañías francesas del PGA, en forma de dos modelos que comparten la misma estructura y características: el Peugeot iOn y el Citroën C-zero (realmente se trata del mismo automóvil, como puede apreciarse por las similitudes que presentan, únicamente con pequeñas diferencias en el aspecto estético exterior e interior).

Este modelo fue considerado como coche del año en Japón durante los años 2009 y 2010.

Mitsubishi i-MiEV / Peugeot iOn / Citroen C-zero	
	
Car body	4-seats, 5 doors, Limousine
E-Motor	Three-phase permanent magnet synchronmotor, rear propelled
Torque	280 Nm from 0-2000 rpm
Power	49 kW
Battery	Lithium-Ion battery, 16 kWh
Acceleration	0-100 km/h: 15,9 s
Top speed	130 km/h
Driving Range	150 km

Tesla Roadster

Este modelo constituye el primer vehículo deportivo 100% eléctrico. Dadas las altas necesidades energéticas de este tipo de vehículos (deportivos) y las limitaciones ya comentadas de los sistemas de almacenamiento de energía actuales, este sector se mostraba en principio poco apropiado para la electrificación. No obstante, mediante el desarrollo de técnicas innovadoras, el fabricante americano Tesla ha conseguido un modelo a la altura de los mejores deportivos de motor de gasolina.

Tesla Roadster	
	
Car body	2-seats, Roadster
E-Motor	Three-phase asynchronmotor, rear propelled
Torque	375 Nm from 0-4500 rpm
Power	215 kW
Battery	Lithium-Ion battery (water cooled), with 56 kWh of capacity and a total weight of 450 kg
Acceleration	0-100 km/h: approx. 4 s
Top speed	200 km/h
Driving Range	395 km at 90 km/h



Basado en el modelo británico Lotus Elise, este vehículo americano ofrece unas prestaciones técnicas impresionantes, mejores incluso que muchos de los deportivos de alta gama convencionales, además se ofrece una autonomía sustancialmente mayor que la media que ofrecen los vehículos eléctricos actuales. Esto es posible gracias a la batería de 56 kWh que incorpora, que ofrece un recorrido de hasta 350 km entre cargas. Sin embargo, esta ventaja tecnológica requiere de instalaciones de carga específica, que permiten cargar completamente la batería en unas razonables 4-6 horas (de otro modo, mediante una conexión normal eléctrica, el tiempo de carga se dispararía hasta las 16-18 horas).

Obviamente, estas extraordinarias prestaciones técnicas se traducen en un elevado coste de adquisición, situándose en torno a los 100.000 \$ americanos (hasta la fecha, solo se comercializa en EEUU), por lo que esa exclusividad ha provocado que este vehículo solo se fabrique bajo pedido y mediante un proceso manual, en las instalaciones que la compañía tiene en Palo Alto, California. Desde su lanzamiento, en 2009, se han fabricado en torno a 1000 unidades, todas ellas bajo un solicitado proceso de pedido. De hecho, la lista de espera para acceder a la compra de este modelo continúa siendo muy larga.

Actualmente, Tesla tiene previsto detener la producción de este modelo, para centrarse en el desarrollo del que será el sucesor del mismo, el nuevo modelo Tesla S Roadster.

BMW i3

Con un lanzamiento al mercado previsto para el año 2013-2014, todo apunta a que el lanzamiento del nuevo modelo eléctrico puro (BEV) de la marca alemana constituirá un verdadero hito en la historia de la automoción.

Realmente, con el desarrollo de este nuevo modelo, BMW ha revolucionado completamente el concepto de automóvil. Una serie de materiales totalmente nuevos y nunca antes utilizados en automoción comercial, así como un concepto de montaje totalmente innovador, han hecho del i3 un modelo referente en la estrategia de diseño de propósito.



Para ello, BMW ha destinado una inmensa cantidad de recursos (en torno a 400M €) para la construcción de una nueva planta de producción en Leipzig, Alemania, donde se ensamblará este vehículo y los futuros modelos eléctricos de la compañía. Para rentabilizar esta inversión, la compañía ha apostado por una producción anual de 30.000-35.000 unidades desde la apertura de la fábrica. Este alto nivel de producción así como las sólidas relaciones comerciales que BMW está estableciendo con nuevas empresas (nuevos materiales, componentes electrónicos) se traducen en unos precios de compra nada desorbitados, muy parecidos al resto de los coches eléctricos del mercado.



Imágenes del modelo BMW i3

Esta descarada apuesta por la electromobilidad ha generado una corriente de buenas críticas hacia la marca alemana, así como el reconocimiento de importantes instituciones públicas y organizaciones ecologistas.

Desgraciadamente, el gran interés mediático que rodea al lanzamiento de este modelo ha hecho que la compañía alemana se muestre muy reticente a publicar datos técnicos finales sobre el vehículo. No obstante, los importantes cambios en el proceso de producción se estudiarán en los siguientes apartados.

A pesar de que estos cinco modelos son considerados los más representativos de todo el parque automovilístico eléctrico, muchas son las compañías que ya han lanzado o que están a punto de lanzar al mercado su primera generación de coches eléctricos.



3.1.2 Tabla de datos. Vehículos eléctricos en el mercado.

En la siguiente tabla se trata de mostrar la gran cantidad de modelos eléctricos existentes o de llegada inminente. La mayor parte corresponden a marcas no muy conocidas en el panorama mundial y con unas series de producción muy bajas, pero que cuyos desarrollos deben ser tenidos en cuenta. Del mismo modo, destacar el cada vez mayor número de proyectos y prototipos que las marcas punteras tienen previstos para los próximos años.

La tabla se encuentra organizada de forma temporal, ordenando los modelos según su fecha de aparición en el mercado. Posteriormente, se procederá a analizar brevemente los resultados y cifras arrojados.



Name of Vehicle	Type	$V_{\text{máx}} \left[\frac{\text{km}}{\text{h}} \right]$	$0-100 \frac{\text{km}}{\text{h}} \left[\text{s} \right]$	Range [km]	Battery type	Batt. Capacity [kW/h]	No. of seats	Release Date
Tesla Motors Roadster	BEV	183	3,9	393	Microprocessor-controlled lithium-ion battery pack	56	2	01.07.2008
VentureOne/Persu Mobility	PHEV	160	7	32	Lithium-ion battery (60 cells)	3	2	01.01.2009
Miles Electric Vehicles (ZX40S)	BEV	40		72	Advanced sealed, absorbed glass mat (AGM), valve regulated, maintenance free lead-acid		4	01.01.2009
Chrysler GEM	BEV	40		48	Lead acid		2	01.01.2009
Commuter Cars Tango	BEV		4	192	Lead-acid or lithium ion	30	1	01.01.2009
BMW Mini-E	BEV	153		175	Li-ion battery pack with 5000+ laptop-style batteries	35	2	22.05.2009
Mitsubishi iMiEV	BEV	130		160	Lithium-ion	16	4	01.07.2009
Mindset AG Mindset	PHEV	140	7	180	Lithium-ion battery	20	4	01.01.2010
BYD F3DM	PHEV	150	10,5	100	Lithium iron phosphate battery	13,2	5	01.01.2010
BYD Auto e6	BEV	140	14	330	BYD Li-ion Fe battery	72	5	01.01.2010
Citroen C-Zero	BEV	130	15	130	Lithium-ion battery	16	4	01.01.2010
Audi Metroproject Quattro	PHEV	201	7,8	100	Lithium-ion battery pack		4	01.01.2010
REVA NXR	BEV	104		160	Either lead-acid or lithium-ion batteries		4	01.01.2010
Ford Transit Connect	BEV	120		129	Lithium-ion battery	28	2	01.01.2010
Lightning UK Electric Lightning GT	BEV	160	5	300	Lithium-ion battery	36	2	01.01.2010



Heuliez Mia	BEV	110		90	Lithium-phosphat	6	3	01.01.2010
Coda Automotive CODA	BEV	103	11	169	Lithium ion (LiFePO ₄)	33,8	4	01.01.2010
Tazzari Zero	BEV	164		140	Lithium-ion battery		2	01.03.2010
Fisker Karma	PHEV	201	5,8	80	Lithium-ion battery	22,6	4	01.05.2010
Chery Auto Co. S18/M1	BEV	120		150	Ferric phosphate lithium battery pack	40	5	01.06.2010
SABA Carbon Zero	BEV	147	5,1	192			2	01.06.2010
RUF Stormster	BEV	250	10	190	Lithium-ion battery		5	01.06.2010
Venturi Fetish	BEV	160	5	250	31 modules of Li-ion LIV-7 batteries		2	01.07.2010
Green Vehicles Triac	BEV	140		160	Lithium-ion battery		2	01.10.2010
Green Vehicles Moose	BEV			100	Lithium-ion battery		2	01.10.2010
Peugeot iOn City Car	BEV	130	15	130	Lithium-ion battery	16	4	01.10.2010
Velozzi Supercar	EREV	320	3	320	Lithium ion polymer			01.10.2010
Aptera 2h	PHEV	144	10	80	Lithium iron phosphate battery	11,5	2	01.10.2010
Nissan Leaf	BEV	160	10	160	Lithium-ion battery	24	5	01.12.2010
Fiat 500	BEV	170		100	Lithium-ion battery		4	01.12.2010
BAIC (Beijing Automotive Industry Holding Company) BE701	BEV	160	15	200				01.01.2011
Audi A1 Sportback	PHEV	100	8	50	Lithium-ion battery	20	4	01.01.2011
GM Saturn Vue Green Line	PHEV		7,3	16	Lithium-ion battery			01.01.2011



Jaguar XJ	EREV	180			Lithium-ion battery	145		01.01.2011
Pininfarina/Boll ore Blue Car	BEV	160		250	Lithium metal polymer battery	30	4	01.01.2011
Th!nk City C	BEV			180	MES DEA – Zebra, sodium; Enerdel (lithium-ion); A123 (lithium-ion)	28,3	2	01.01.2011
Ford Focus EV	BEV	100	8	160	98, air-cooled, 60 A-h Lithium ion batteries	23		01.01.2011
Volvo C-30 electric car	BEV	201	10,5	135	Lithium-ion battery	24	4	01.01.2011
REVA NXG	BEV	130		200	Lithium ion phosphate battery pack	14	2	01.02.2011
e-WOLF e2	BEV	250	3	300	Patented integration		2	01.09.2011
Renault Kangoo Z.E.	BEV	130		160	Lithium ion	24	5	01.10.2011
Renault Fluence Z.E.	BEV			160	Lithium ion	24	4	01.10.2011
Velozzi Solo crossover	EREV	210	6				2	01.10.2011
Tesla S Electric Sedan	BEV	100	5,6	260	Lithium-ion battery		5	01.10.2011
Audi E-tron	BEV	250	4,8	250	Lithium-ion battery	42,4	2	01.10.2011
Opel Ampera	PHEV	160	9	60	Lithium-ion battery	16	4	01.11.2011
Chevrolet Volt	PHEV	161	9	64	Lithium-ion battery	16	4	01.11.2011
Volvo V70	PHEV	161	9	50	Lithium-ion battery	11,3	5	01.01.2012
Fisker Project Nina	EREV	161						01.01.2012
Ford Escape	PHEV	164		48	Lithium-ion battery	10		01.01.2012
Hyundai Blue-Will	PHEV			61	Li-ion polymer battery		4	01.01.2012



Daimler Smart ED	BEV	100		135	Li-Ion battery from Tesla	14	2	01.01.2012
Toyota Prius Plug-in	PHEV	100	10,9	23	Lithium-ion battery	5,2	5	01.01.2012
Tata Nano	BEV	110		120	Lithium-Polymer-(LiPo)-Battery	12	4	01.01.2012
Bright Automotive Idea	PHEV			64	Lithium-ion battery	13		01.10.2012
SAIC Roewe 750	BEV	150		200	Lithium-ion battery		4	01.01.2012
Land Rover Range Rover Sport	PHEV	161		32			5	01.01.2012
Herba Trabant nT	BEV	130		250	Lithium-ion battery		4	01.01.2012
EWE-E3	BEV	140	15	170	Lithium-ion battery (nickel-cobalt-aluminum; NCA)	31,7	4	01.01.2012
Renault Zoe Z.E.	BEV	140		160	Lithium ion	24	4	01.02.2012
Toyota FT-EV City Car	BEV	160		90	Lithium-ion battery		4	01.12.2012
Volkswagen Twin Drive	PHEV	170		50	Lithium-ion battery	8	4	01.01.2013
VW Up! (E-Up!)	BEV		11,3	130	Lithium-ion battery	18	4	01.01.2013
Mitsubishi PX-iMiEV	PHEV			50	Lithium-ion battery	16	4	01.01.2013
General Motors Cadillac Converj	PHEV	161	9	64	220 Lithium ion cells (w/liquid-controlled thermal management system)	16	4	01.01.2014
SEAT León 'Twin Drive Ecomotive'	PHEV	100		50	Lithium-ion battery		5	01.01.2014
SEAT Ibe	BEV	160	9,4		Lithium-ion battery	18	4	01.01.2014
BMW Megacity	BEV	145	9	160	Lithium-ion battery			01.01.2015



Mercedes Benz F 800	BEV	180	11	600	Lithium-ion battery		5	01.01.2015
Mercedes Benz SLS eDrive	BEV	200	4	164	Lithium-ion battery	48	2	01.01.2015
Volvo ReCharge	PHEV	160	9	100	Lithium-polymer battery			
Citroen REVOLTE	PHEV				Lithium-ion battery		3	
Suzuki Swift	PHEV			20	Lithium-ion battery	2,66	5	
BMW Vision	PHEV	250	4,8	50	98 Lithium-polymer batteries	10,8	4	
Daimler Mercedes Benz Blue Zero	PHEV	150	11	50	Lithium-ion battery pack	18	5	
Daimler Mercedes Benz S500 Vision	PHEV	250	5,5	30	Lithium-ion battery	10		
XR-3 Hybrid	PHEV	130		64	Lithium-ion battery		2	
Visionary Vehicles/Bricklin Collection	PHEV		5,9	72	Lithium-ion battery		?	
Chrysler Town & Country	PHEV	160	8	64	Lithium-ion battery		7	
Chrysler Jeep Patriot	PHEV	160	8	64	Lithium-ion battery		5	
Chrysler Jeep Wrangler Unlimited	PHEV	145	9	64	Lithium-ion battery		5	
Chrysler 200C	PHEV	200	7	64	Lithium-ion battery		4	
Opel Flextrema	PHEV	200	9	60	Lithium-ion (manganese spinal)	16	4	
Toyota 1/X	PHEV				Lithium-ion battery		4	
Kia Ray	PHEV	175		80	Lithium ion polymer		4	
Capstone CMT-380	EREV	201	3,9	130	Batteries and 30 kW (bio)diesel		2	

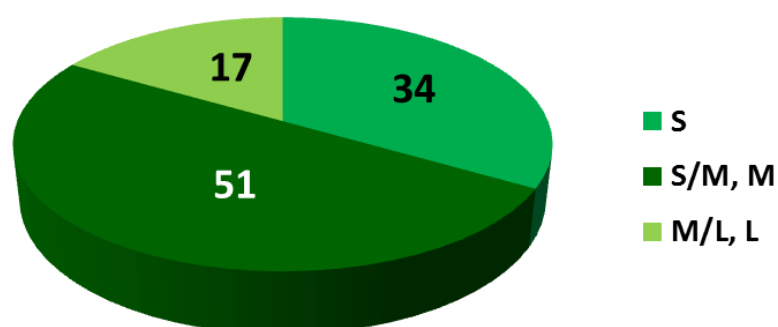


microturbine							
BMW 1 Series Concept Active E electric coupe	BEV	145	9	160	Lithium-ion battery		4
Saab ZE 9-3	BEV	150	6,5	150	Lithium-ion battery	26	
Tata Indica	BEV	160		200	Super polymer lithium ion	26,5	4
CT&T United e-Zone	BEV	70		66	Lead acid	12	2
CT&T United e-Zone	BEV	70		109	Lithium-polymer	10	2
Porsche 918 Spyder	PHEV	320	3,2	25	Lithium-ion battery		2
Ringspeed UC?	BEV	120		105	Lithium-ionen Li-Tec	12	2
Optimal Energy Joule	BEV	135		300	Lithium-ion battery		5
Protoscar SA Lampo 2	BEV	200	5	200	2 Brusa EVB1 lithium-ion battery packs (each 16 kWh)	32	2
Detroit Electric e63	BEV	180	8	180	Lithium-ion polymer		4
Detroit Electric e64	BEV	180	8	320	Lithium-ion polymer		4
Lotus Evora 414E hybrid	EREV		4	56	Lithium polymer	17	2
Kia Venga	BEV	140	11,8	180	Lithium-ion polymer batteries	24	5
NLV Quant	BEV	377	2,8	483	Flow Accumulator Energy Storage (FAES)		2
Valmet EVA	BEV	120		160	Lithium-polymer battery pack	35,5	4



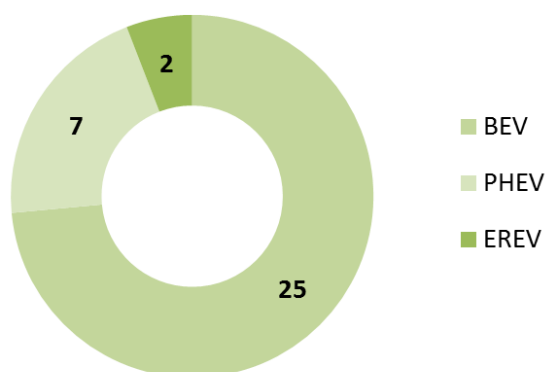
En total se han analizado 102 modelos eléctricos. Como vemos, en muchos de ellos no se han podido obtener ciertos datos, pero globalmente es posible hacer un breve comentario de los resultados arrojados.

Distribución según segmentos



Tal y como se había comentado, la mayor parte de los vehículos eléctricos previstos corresponden a automóviles pequeños o medianos, con un enfoque claramente urbano. El problema del peso de las baterías es otra de las causas por las que los fabricantes se han decantado por modelos de reducido tamaño.

Sector Small - Modelo de propulsión

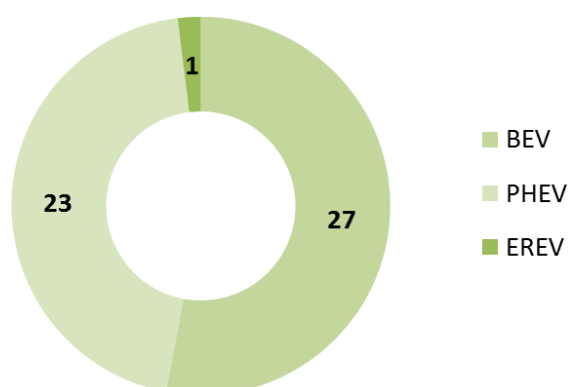


De entre los modelos pertenecientes al sector small, el modelo de propulsión dominante es el eléctrico puro; esto es posible ya que la autonomía de la batería se optimiza dado el



reducido peso del vehículo. Además, los requerimientos de potencia y prestaciones en este caso son limitados, por lo que el consumo de energía es menor y de este modo la duración de la batería se prolonga, evitando así la necesidad de incorporar un sistema auxiliar ICE/diesel.

Sector mediano - modelo de propulsión



En lo relativo al sector de tamaño medio, se aprecia un mayor número de modelos que optan por la opción híbrida enchufable (PHEV). La reducción de la autonomía de la batería debido al aumento de peso del vehículo, así como el enfoque más interurbano que tiene este tipo de vehículos, han provocado que los fabricantes se decanten por esta opción, solucionando así los problemas de baja autonomía de conducción.



Sector grande - modelo de propulsión



En el sector de tamaño grande, vemos claramente como la proporción de vehículos PHEV o híbridos enchufables de rango extendido (EREV) aumenta en detrimento de los eléctricos puros. Una vez más, el elevado peso del vehículo y la necesidad de una mayor autonomía hacen que estas opciones sean predominantes en este sector.

3.1.3 Comparativa modelos eléctricos/ modelos de combustión interna o diesel.

Analizando minuciosamente la tabla, vemos como algunos vehículos eléctricos son conversión directa de modelos ICE/diesel. Por ello, es interesante analizar y comparar las características de estos modelos con sus correspondientes versiones de motor de combustión interna o diesel. La selección de vehículos se muestra en la siguiente tabla:

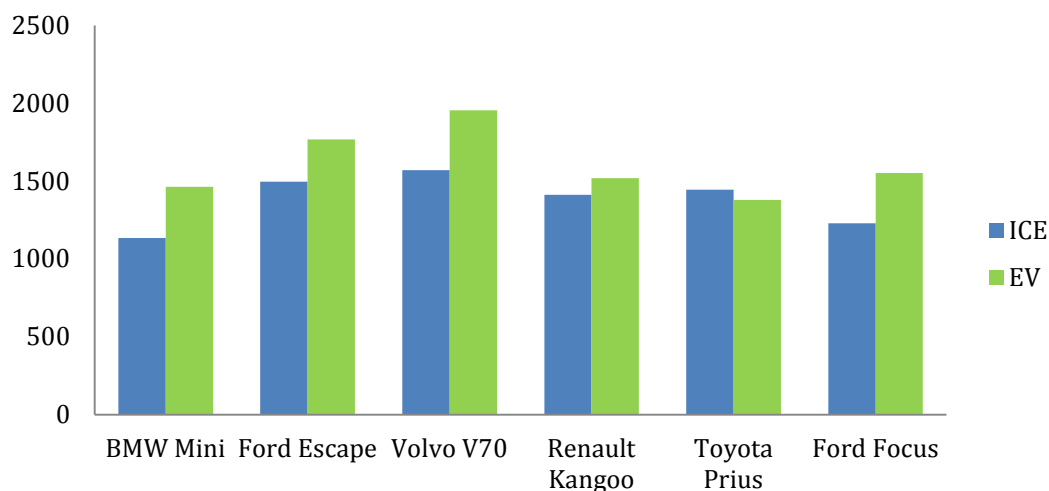


Model	Type	Price (€)	Vehicle mass (kg)	Batt. Capac. (kWh)	Max. speed (km/h)	Acceleration (0-100 km/h, s)	EDT driving range (km)	ICE driving range (km)	Number of seats	Horse-power (kW)
BMW Mini One	ICE	14.600	1.135	×	186	10,5	×	741	4	72
BMW Mini-E	BEV	35.000	1.465	35	153	8,5	175	×	2	150
2010 Ford Escape XLS	ICE	15.780	1.496	×	N.D.	8,9	×	585	5	128
Ford Escape EV	PHEV	20.000	1.769	10	164	N.D.	48	790*	5	
Volvo V70 2.4	ICE	44.300	1.570	×	205	10,5	×	778	5	103
Volvo V70 EV	PHEV	48.000	1.955	11,3	161	9	50	1.150*	5	107
Renault Kangoo Authentique 1,6 8V 90	ICE	14.990	1.412	×	159	15,8	×	741	5	64
Renault Kangoo Z.E. Concept	BEV	15.000	1.520	24	130	N.D.	160	×	5	70
Toyota Prius ZHW3	Hybrid	25.450	1.445	×	180	10,4	×	1.125	5	100
Toyora Prius Plug-In	PHEV	34.750	1.380	5,2	170	10,9	23	1.300*	5	82
Ford Focus 1.4	ICE	15.500	1.229	×	164	14,1	×	803	5	59
Ford Focus EV	BEV	28.500	1.552	23	100	8	160	×	5	105



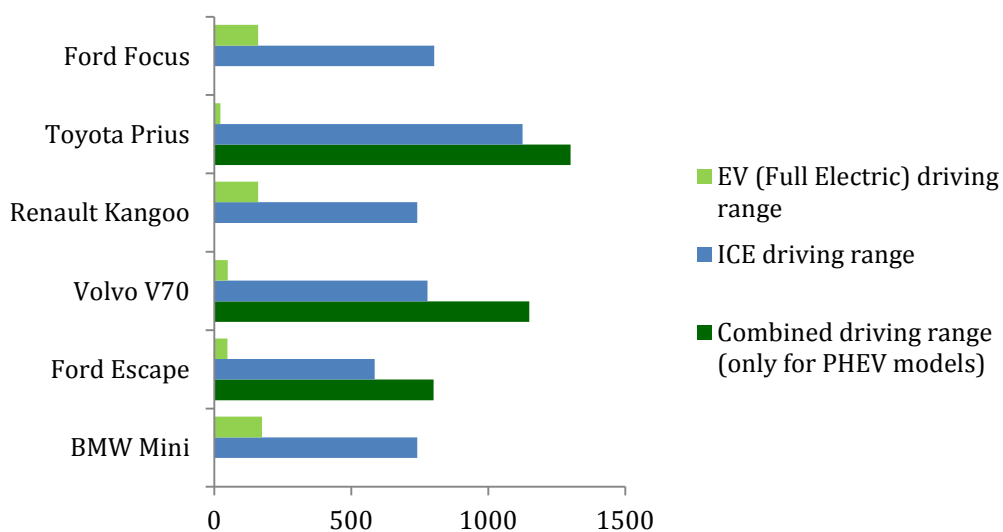
De esta tabla comparativa podemos obtener una comparación bastante detallada de los puntos fuertes y débiles de un modelo eléctrico frente a uno convencional equivalente.

Peso [kg] - Comparación EV/ICE



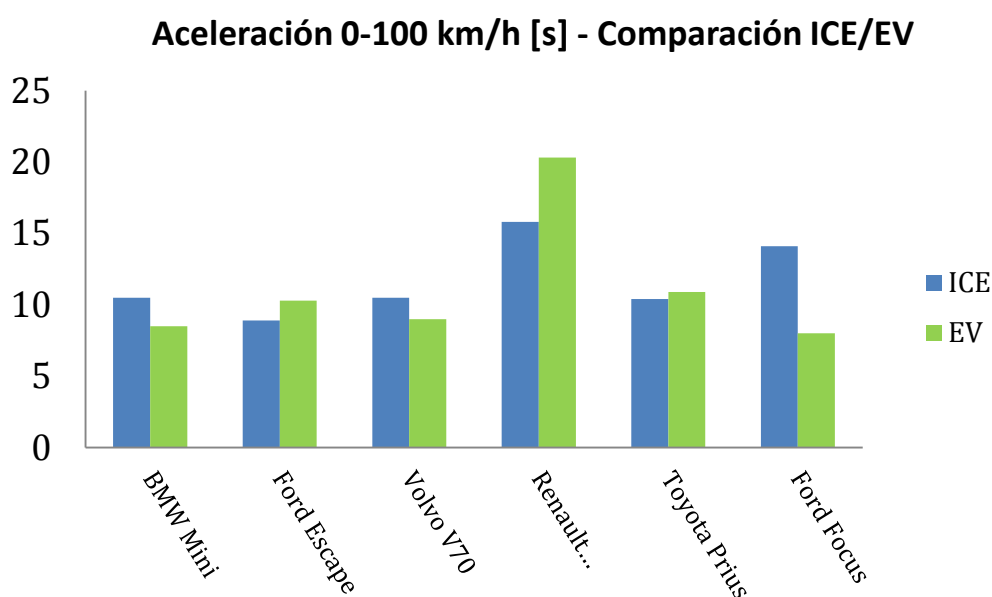
Uno de los aspectos fundamentales de la comparación es el peso del vehículo. Como vemos, los modelos eléctricos son claramente más pesados (a excepción del Toyota Prius, pero en este caso el modelo con el que se compara es también un modelo híbrido, la primera versión del modelo). Esto se debe claramente a la incorporación del pack de baterías, que supone un incremento de peso notable.

Autonomía [km] - Comparación EV/ICE

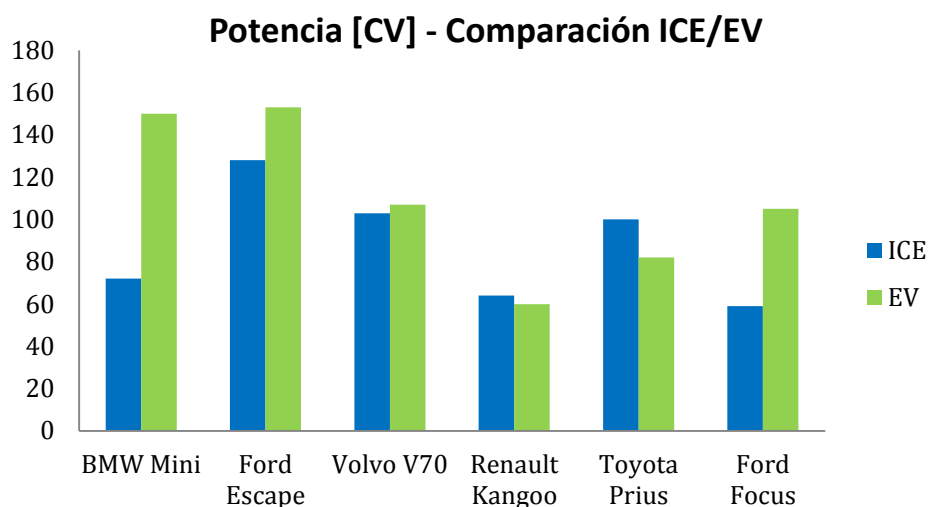




Con esta gráfica podemos comprobar lo afirmado anteriormente: la autonomía de los vehículos eléctricos puros es todavía muy inferior a los valores ofrecidos por los modelos convencionales. No obstante, en el caso de los híbridos enchufables, vemos cómo la aportación del sistema eléctrico es muy beneficiosa, extendiendo notablemente la autonomía de conducción.



En cuanto a la aceleración, vemos cómo los valores varían en función del modelo. En líneas generales, un motor eléctrico acelera más rápidamente que un motor de combustión interna o diesel equivalente. No obstante, la potencia de cada caso y sobre todo el peso del vehículo influyen enormemente en este aspecto.



En esta gráfica podemos apreciar cómo los motores eléctricos generalmente son capaces de entregar mayor potencia que un motor de combustión interna o diesel equivalente. Sin embargo, esta potencia muchas veces es utilizada para compensar el exceso de peso que los modelos eléctricos presentan.

En conclusión, podemos determinar en líneas generales que las prestaciones técnicas de un modelo eléctrico no tienen nada que envidiar de las de un modelo de gasolina o diesel equivalente. No obstante, el problema de la corta autonomía de los primeros así como la todavía enorme diferencia en el precio de adquisición indica que esta tecnología aún debe desarrollarse mucho para poder competir directamente con sus análogos de motor de combustión interna o diesel.

3.2 Cambios en los procesos de producción.

La llegada del coche eléctrico ha supuesto una verdadera revolución en el sistema productivo del sector de la automoción. Las nuevas necesidades de esta tecnología ha llevado a los fabricantes a la investigación y desarrollo de los diferentes aspectos implicados en la producción del automóvil, con el objetivo de alcanzar una solución eficiente que permita ensamblar estos nuevos modelos de manera eficaz y rentable



3.2.1 Nuevos materiales. Polímero reforzado de fibras de carbono

La ciencia de materiales es uno de los aspectos citados que mayor desarrollo ha sufrido en las últimas décadas. Ante la necesidad de aligerar lo máximo posible el peso del automóvil, ha sido necesario olvidarse de la clásica estructura de aleaciones de acero y diferentes metales que hasta día de hoy han compuesto las carrocerías de todos los vehículos. No obstante, no se debe descuidar en ningún caso las propiedades de resistencia y seguridad que deben presentar los materiales para cubrir tan delicada parte del automóvil, la carrocería, máxime ahora que el vehículo incorporará elementos tan delicados y susceptibles como son los componentes eléctricos de alto voltaje.

Así, tras un cambio intermedio hacia metales más ligeros pero igualmente resistentes como las aleaciones basadas en aluminio, la persistente necesidad de ligereza hizo que los fabricantes centraran sus esfuerzos en los materiales empleados en aplicaciones de aeronaves o en el sector del motor de competición. Así, comenzó el desarrollo de nuevas técnicas que permitiesen la obtención y proceso de estos nuevos materiales de forma más económica y automatizada para así poder aplicarlos a un modelo de producción en masa.

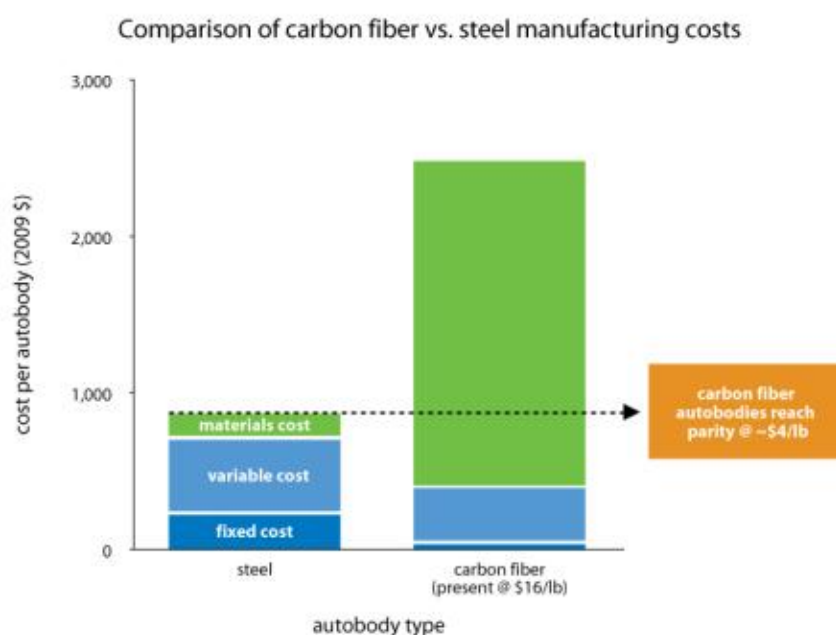
Ciertamente, estos nuevos materiales, los materiales poliméricos o polímeros, se presentan como materiales muy adecuados para la satisfacción de esta nueva tecnología. Se trata generalmente de resinas y otros materiales plásticos que, tras ser moldeados y en muchas ocasiones reforzados por una malla metálica (de carbono), se endurecen adquiriendo propiedades mecánicas excepcionales, pero manteniendo un peso muy reducido. En resumen, estos materiales presentan las siguientes características:

- Bajas densidades con un alto valor resistivo y elevado módulo de Young. Se pueden diseñar estructuras muy sólidas y resistentes, con un peso muy bajo.
- Las fibras del metal de refuerzo (cuando existe) pueden orientarse según las necesidades, incrementando así las características de resistencia en la dirección escogida.
- El material plástico de que se compone el material dota a la pieza de una resistencia ambiental y anticorrosiva excepcional.
- Dada la naturaleza plástica, se evitan problemas relacionados con vibraciones y pandeo.



- Su modo de producción presenta la posibilidad de procesar piezas de diseño compleja mediante herramientas de bajo coste.
- Nivel de expansión térmica muy lenta y controlable.
- Excelente resistencia a la fatiga, hasta el punto de que con un diseño adecuado de las fibras de carbono de refuerzo se puede lograr un material básicamente libre de fatiga.
- Gran capacidad de absorción por parte de la estructura de la energía en caso de choque.
- Las estructuras dañadas pueden ser reparadas fácilmente.

Tras varias pruebas con diferentes compuestos (fibra de vidrio, carbono...) se determinó que el material que mejor encajaba con los requisitos era el polímero reforzado de fibras de carbono (CFRP, por sus siglas en inglés: Carbon fiber reinforced plastic). Este material consiste en un refuerzo en forma de malla de fibras de carbono sumergido en una resina especial de gran dureza. Así, el refuerzo de carbono absorbe la energía del eventual impacto mientras que la resina aporta la dureza y las extraordinarias cualidades anticorrosivas.



Comparativa del coste del CFRP frente al acero convencional



Sin embargo, el principal problema de este material es el alto coste de procesamiento. Unido al alto precio del carbono, las técnicas de procesamiento de las fibras de carbono continúan siendo muy costosas. Por ello, algunas de las marcas se han apresurado en cerrar alianzas con empresas especialistas en el sector, como es el caso de la compañía alemana BMW con la empresa procesadora de fibras de carbono SGL Carbon.

Una vez ya obtenidas las fibras, el proceso de fabricación del CFRP resulta ya menos costoso. No obstante, en función de las características deseadas de la pieza final, existen dos métodos diferentes para procesar las piezas de CFRP: el RTM (del inglés Resin Transfer Modul) y las técnicas pre-preg (pre-impregnation) que se analizarán a continuación.

3.2.2 Procesos de prensa

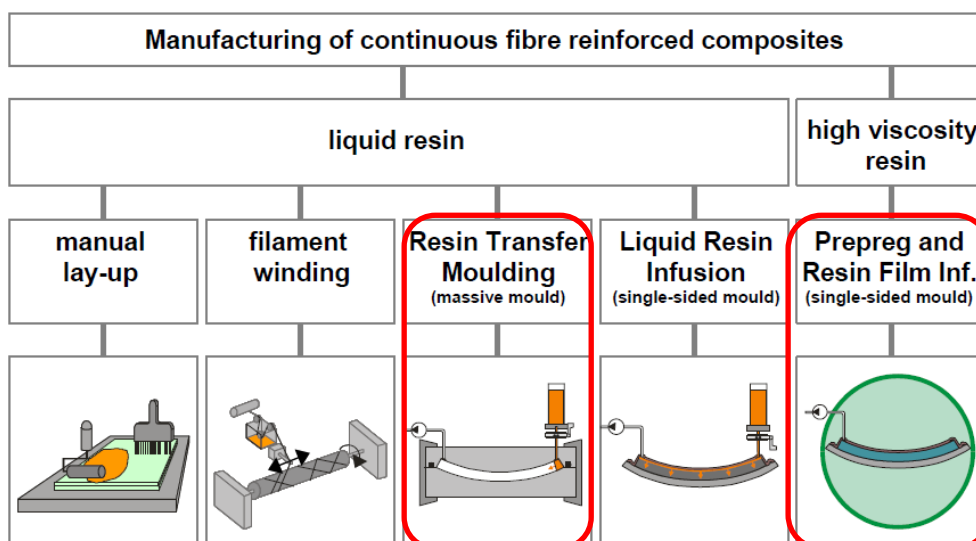
Tal y como se ha comentado, existen dos métodos diferentes para la obtención de piezas de estos materiales poliméricos. En realidad, estos procesos no pueden ser clasificados como procesos de prensas, ya que, como veremos, no es necesario el empleo de prensas hidráulicas para el procesamiento de estas piezas. Sin embargo, a modo comparativo, incluimos los procesos de formación de estas piezas dentro de la clasificación convencional como parte del proceso inicial de modelado en prensas.

Como se ha explicado, este tipo de material se compone de un refuerzo en forma de red formado por las fibras de carbono que se sumerge o impregna en una resina térmica que posteriormente se endurece para formar el material deseado. Sin embargo, el proceso de fabricación de este material es muy lento y delicado, que requiere de gran atención por parte del personal.

Así, los principales objetivos de los fabricantes de vehículos eléctricos son el desarrollo de tecnologías mecánicas que faciliten la automatización de este proceso y el aumento de la velocidad de procesamiento, para posibilitar su integración en el proceso global de producción en masa. En este sentido, actualmente existen dos modelos de producción



apropiados para este tipo de material: la técnica de Pre-Preg y el método RTM (Resin Transfer Modul)



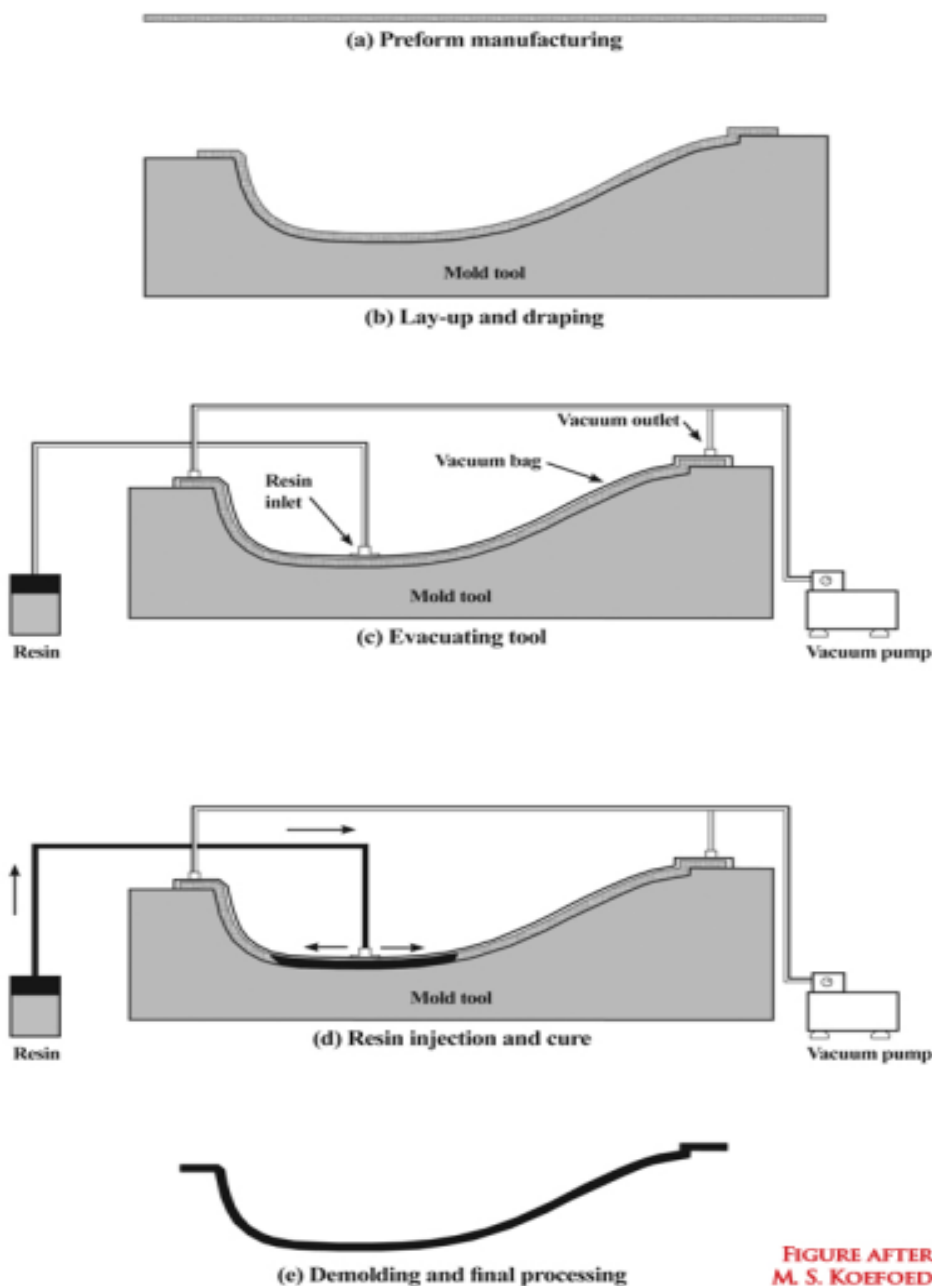
Esquema de los diferentes métodos de procesamiento de CFRP

La técnica Pre-Preg (del término inglés pre-impregnation) es una técnica ampliamente utilizada en el sector aeroespacial. Se trata de un método de molde abierto, sobre el cual se coloca las fibras de carbono y posteriormente se vierte la resina líquida hasta ocupar el espacio del molde. Para su curado, se dispone de una herramienta denominada “Autoclave”, la cual cubre la parte descubierta del molde y ejerce una presión de vacío que ayuda a una mejor disposición de la resina.

Dadas las características del proceso, la resina utilizada debe ser adecuada y capaz de soportar las presiones de vacío a las que se somete, lo que encarece sensiblemente el coste de la misma. No obstante, la sencillez de la maquinaria empleada y el bajo coste de las herramientas implicadas (para posicionar el refuerzo de carbono, por ejemplo) hace de esta técnica una solución factible de bajo coste de inversión.

Además, la posibilidad de una fácil automatización del proceso, unida a la relativa rapidez del proceso lo convierten en un proceso muy atractivo y adaptable al modelo de producción en masa. Normalmente se dispone de una máquina de suministro continuo de fibras de carbono y un surtidor de resina en estado líquido, que se unen sobre el molde. Así, con una máquina auxiliar de corte, se consigue la pieza deseada y se procede al procesamiento de la siguiente.

Por otro lado, el empleo de presiones de vacío durante el curado facilita una mejor repartición de la resina a lo largo de la forma del molde, resultando (la superficie correspondiente al molde) de una gran calidad superficial.



Esquema del proceso de Pre-preg



Las características de este proceso (molde abierto, autoclave) permiten un mayor control en la distribución de las fibras de carbono de la malla de refuerzo, facilitando una distribución unidireccional de las mismas para una mayor resistencia en la dirección deseada.

El método RTM (Resin Transfer Modul) se trata de un proceso nuevo de fabricación de CFRP. En esta ocasión se trata de un proceso de molde cerrado, con un molde inferior y otro superior que encajan entre sí dándole la forma deseada a la pieza.

El proceso en este caso es algo más complicado, ya que requiere de elementos auxiliares capaces de asegurar un correcto posicionamiento de la malla de carbono de refuerzo durante el curado (cuando el molde está cerrado). Así, al inicio del proceso, se abre el molde y se coloca la estructura mallada de fibras de carbono, colocando los soportes necesarios para un correcto posicionamiento de la misma durante el proceso. Lógicamente, esta operación se facilita en el caso de mallas con una distribución de fibras bi- o multidireccional.

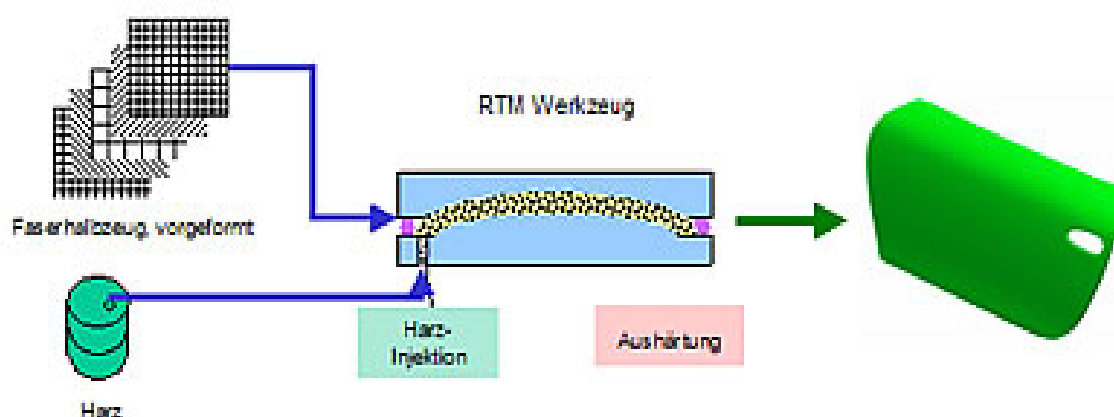
Una vez colocada la malla, se cierra el molde y mediante un inyector se introduce la resina a presión en el interior del molde. Ésta resina, más líquida (no requiere tantas propiedades especiales como en el caso del pre-preg, con lo que también es más barata), se reparte entre todo el espacio disponible y se procede al curado.

El curado y endurecimiento de la resina se lleva a cabo con el molde cerrado, y después de un cierto período de tiempo (dependiendo de las condiciones en las que trabaje la maquinaria), se abre el cónclave y se retira la pieza deseada.

Dado que el proceso se realiza con dos moldes que cubren toda la superficie de la pieza, el acabado superficial de ambas superficies así como la calidad de la misma son excelentes. No obstante, la complejidad del proceso hace muy difícil su automatización, y los tiempos de procesamiento son sensiblemente más largos que en el caso del Pre-preg, con lo que la implantación de esta técnica en el proceso de producción en masa sigue todavía en estudio.

Sin embargo, y a pesar de que la inversión inicial necesaria para la instalación de esta técnica (moldes caros, inyector...) es elevada, al bajo coste de la materia prima a

procesar (la resina) así como los bajos costes de preparación y utilización (la energía empleada por el inyector es muy inferior al del autoclave en el caso del pre-preg), unido a la ya comentada alta calidad de los productos hacen de esta técnica una medida muy atractiva y rentable a largo plazo. De hecho, muchos fabricantes han destinado muchos recursos para la investigación y desarrollo de estas técnicas (como el caso de Volkswagen, con el desarrollo de las técnicas aRTM, advanced Resin Transfer Modul)



Esquema del proceso RTM

Así, comparando ambas técnicas, podemos analizar las ventajas y desventajas que presentan

RTM - Resin Transfer Moulding	Pre-preg
Altos costes de instalación	Maquinaria y utillaje simples
Materia prima (resina) barata	Materia prima (resina) costosa
Bajos costes de preparación y utilización	Requiere autoclave y grandes cantidades de energía (para presiones de vacío)
Apropiado para una distribución multidireccional de las fibras de carbono	Excelente para piezas con solicitaciones unidireccionales
Excelente acabado superficial en ambas superficies	Buen acabado final en la superficie del molde
Rentable a largo plazo	Rentable a corto plazo



Dada la situación de la tecnología del vehículo eléctrico, todavía en sus albores, la mayoría de las empresas han optado por la opción menos arriesgada, y fabrican sus piezas según la técnica Pre-preg. No obstante, continúan desarrollando las técnicas RTM, aplicándolas a ciertas piezas de sus prototipos para analizar su actuación y respuesta (por ejemplo, la aleta delantera derecha del prototipo XL1 de la compañía Volkswagen).

3.2.3 Carrocería – procesos de soldadura.

Con la llegada de estos nuevos materiales, los procesos de soldadura que se llevan a cabo en el taller de chapa sufrirán un cambio radical. Actualmente, toda la maquinaria está diseñada para la soldadura de metales como el acero o, como en el caso de los vehículos más recientes, aleaciones de aluminio.

Con la primera generación de vehículos eléctricos, la soldadura metálica se limitará a componentes como la estructura del bastidor, realizada todavía (en la mayoría de los modelos eléctricos venideros) en aluminio. No obstante, la ausencia total de acero en las carrocerías de los próximos modelos conducirán a una mayor optimización de los



robots de soldadura actuales, para adaptarse mejor a los diferentes puntos de fusión y propiedades del aluminio, como las técnicas de soldadura láser tri-direccional o la novedosa soldadura por inducción electromagnética

Sin embargo, la situación cambia totalmente en el caso de los materiales poliméricos. Estos materiales no se comportan como metales, con lo que el concepto de soldadura metálica no es aplicable. Además, dadas las propiedades de las resinas implicadas en estos materiales, el proceso de unión de piezas mediante la aplicación de calor es una operación muy delicada y que necesita un control total del proceso en todo momento.



Así, con el objetivo de adaptarse a estas nuevas tecnologías, las principales casas de maquinaria de soldadura (robots de soldadura) se encuentran desarrollando técnicas de soldadura para este tipo de materiales (como las recientes técnicas de soldadura por calor inductivo). Así, ya es posible encontrar hoy en día en el mercado los primeros modelos que la firma KUKA (principal fabricante de maquinaria de soldadura por ejemplo en VW Navarra) ha diseñado a tal efecto.

Otra opción viable es la utilización de adhesivos. Dadas los problemas ya comentados con la soldadura de estos materiales, resulta interesante analizar esta posibilidad. Además, la composición de estos materiales facilitan la aplicación de elementos adhesivos de mayor eficacia que en el caso de los metales. Así, aun sin llegar nunca a la calidad de unión de una soldadura, esta solución se presenta como una alternativa viable y económica a los procesos clásicos de unión de piezas. No obstante, por temas de calidad, este tipo de unión no puede aplicarse en piezas del vehículo que necesitan, por motivos de seguridad, una calidad de unión superior.

El mayor de los problemas, no obstante, aparece a la hora de unir piezas de aluminio con estas nuevas piezas poliméricas. Como las propiedades mecánicas (especialmente punto de fusión) de los metales y polímeros son tan diferentes, resulta imposible emplear métodos de soldadura para unir ambas piezas.

En estos casos, se suele recurrir a adhesivos de alta calidad y a procesos de unión mecánicos (ribetes, tornillos), tratando de perforar lo menor posible la parte polimérica (reduce mucho las propiedades mecánicas de ésta).

A pesar de que hoy en día, por cuestiones eminentemente económicas (pero también mecánicas) no resulta posible fabricar completamente una carrocería en CFRP, se prevé que en un futuro la proporción de elementos metálicos sea cada vez menor, con lo que estos problemas de unión de piezas desaparecería.

En la siguiente tabla se recogen los tres tipos de unión analizados:



Tipo de unión	Procesos
CFRP-CFRP	<ul style="list-style-type: none">Nuevas técnicas de soldadura (KUKA Induflex – Calor inductivo)Material adhesivo
CFK – Aluminio	<ul style="list-style-type: none">Material adhesivoUnión mecánica: tornillos, ribetes...
Aluminio-Aluminio	<ul style="list-style-type: none">Procesos convencionales

3.2.4 Procesos de pintura

A pesar de la aparente poca conexión de este proceso con el tipo de material de la carrocería, ciertamente los procesos de pintura se ven altamente modificados con la introducción de estos nuevos materiales.

En primer lugar, dadas las excelentes propiedades anticorrosivas y de resistencia de las resinas, no son necesarios tantos procesos de protección como en el caso de los vehículos convencionales. En este sentido, la naturaleza plástica de los polímeros hace que su conductividad eléctrica sea muy inferior, con lo que los procesos de KTL no son aplicables en estos casos.

En función del método de modelado escogido (RTM o Pre-Preg), el acabado superficial será excepcional, con lo que las etapas de preparación y reparación antes de la capa de pintura no son necesarias.

En cuanto a la fase de aplicación de pintura, normalmente se utilizará el mismo sistema de automatización de pintura actual, pero la pintura empleada puede ser ligeramente diferente. En esta etapa, la mayoría de los cambios residen en el deseo de convertir el proceso en una operación más eficiente y limpia. De este modo, se utilizan compuestos como el poliuretano acrílico y métodos como el pintado en seco, con un ahorro de agua



(el proceso de pintura es el que mayor consumo de agua tiene de todo el proceso productivo) de alrededor del 60% con respecto a antiguas técnicas.

Por otro lado, el modo de procesamiento de los polímeros ofrece otra posibilidad interesante. Como hemos visto, para la confección de estos materiales se lleva a cabo vertiendo resinas líquidas sobre el molde de la pieza. En lo referido al proceso de pintura, es posible añadir en este procedimiento inicial ciertos aditivos y colorantes a dicha resina, para que la pieza sea desde el primer momento procesada con el color deseado.

No obstante, el control minucioso que exige (tanto en la cantidad exacta de aditivo como en una correcta distribución del mismo a lo largo de todo el material) ha provocado que esta técnica no sea contemplada por los fabricantes a día de hoy.

3.2.5 Procesos de montaje final

Junto con los cambios obligados en los procesos de prensas, carrocería y pintura debidos a la introducción de nuevos materiales, los cambios en la etapa de montaje final (debidos, obviamente, por la introducción de nuevos componentes electrónicos) son los más acusados.

Tal y como se ha explicado en el anterior capítulo, en función del grado de diferenciación del modelo eléctrico con respecto a los modelos de gasolina/diesel ya existentes, los fabricantes adoptarán un modelo de diseño de propósito o bien uno de diseño de conversión.

Como el único caso de diseño de propósito previsto para ser implantado en producción en masa es el caso del modelo i3 de BMW, centraremos en este capítulo los cambios que han de llevar a cabo los fabricantes en sus naves de montaje para adaptar el modelo eléctrico de diseño de conversión a las instalaciones disponibles.

Así, en estos casos de diseño de conversión, el fabricante puede optar entre dos opciones: la creación de un nuevo tramo de línea de montaje a modo bypass o el montaje mixto.



Modelos de bypass y montaje mixto

El caso del bypass ya se analizó anteriormente. Se trata de instalar un tramo de línea de montaje adicional en aquellas estaciones donde el montaje de ambos modelos (eléctrico y convencional) no es compatible, y se requiere de tactos independientes (con su maquinaria y espacio logístico correspondientes) para el correcto ensamblaje del vehículo. Esta opción es muy costosa y se intenta evitar en la medida de lo posible, pero es inevitable cuando no existen tactos libres a lo largo de la línea original.

La otra medida, el montaje mixto, es ampliamente utilizado por la mayoría de los fabricantes de automóviles. En él, ambos modelos (eléctrico y gasolina/diesel) fluyen por la misma línea de montaje, donde van siendo ensamblados. Dado que la mayoría de las funciones no difieren en demasía para los dos casos (diseño de conversión), ambos modelos se ensamblan de la misma manera con los mismos equipos de trabajo.

El problema llega en aquellas etapas de montaje en que el ensamblaje de los dos modelos difiere completamente. En este caso (por ejemplo, en el fahrwerk, donde se instala el motor, o en la etapa de montaje de baterías) la estrategia a seguir es simple. Normalmente, por motivos de seguridad, ergonomía y adaptabilidad, las líneas de montaje son diseñadas con un número de tactos o etapas sin asignar, esto es, hay tramos de la línea de montaje que no tienen asignada operación alguna (el coche simplemente “pasa” el tacto). Así, la solución propuesta es adaptar esos tactos libres y aprovecharlos para las operaciones de montaje específicas de los modelos eléctricos. De este modo, los modelos eléctricos “atravesarán” los tactos o etapas destinados al montaje de motor de combustión, depósito de gasolina... propios de los vehículos convencionales y sus componentes específicos serán ensamblados en estos tactos adaptados, mientras que los coches convencionales harán lo contrario.



No obstante, como la disposición de los tactos libres era aleatoria (o al menos no respondía a las necesidades actuales), en muchas ocasiones es necesario una redistribución completa de toda la línea de producción para hacerla compatible con el ensamblaje de ambos modelos (ciertamente, tanto los coches eléctricos como los convencionales tienen un orden de ensamblaje determinado; no se puede montar cualquier elemento en cualquier tacto de la línea). Aun así, el coste es mucho menor que el correspondiente a la instalación de un nuevo tramo de línea (solución del bypass), por lo que siempre que es posible (cuando hay tactos libres suficientes) se opta por esta opción.

3.2.6 Ejemplos de aplicación. Modelos reales.

A continuación se mostrarán ciertos ejemplos concretos donde puede verse la aplicación de estas técnicas:

Nissan Leaf:



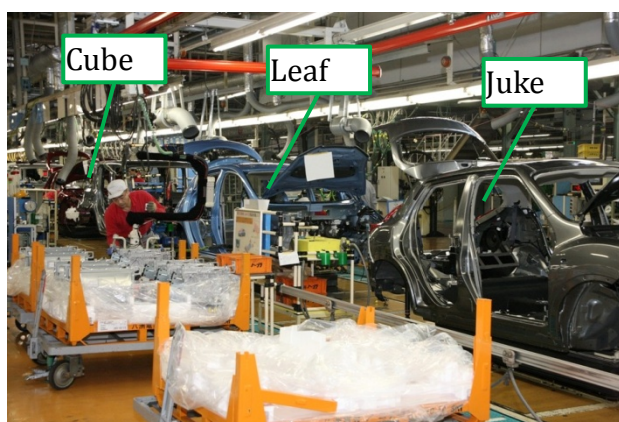
Nissan Juke



Nissan Cube



Nissan Note





El modelo eléctrico Nissan Leaf se ensambla mediante un proceso de montaje mixto junto a otros tres modelos convencionales (gasolina/diesel) de la marca, el Nissan Juke, Nissan Cube y Nissan Note. Como podemos apreciar en las imágenes, las diferencias entre los tres modelos son pequeñas, con lo que la mayoría de las operaciones de montaje permanecen invariables.



Imágenes del montaje del Nissan Leaf

Como vemos, en el caso del Leaf la batería de alto voltaje se montará al comienzo de la línea, antes incluso del montaje del motor (fahrwerk). Cabe destacar la maquinaria usada para el montaje del pack de baterías. Como podemos observar, esta operación se lleva a cabo con la ayuda de un carro sobre railes que acompaña al vehículo en su recorrido por la etapa de operación (en este caso la operación ocupa dos tactos) y va instalando y fijando la batería en la parte inferior del vehículo.

Como se ha explicado, el resto de modelos con los que comparte línea de montaje simplemente atravesarán estos dos tactos sin que se realice sobre ellos operación de montaje alguna.

Mitsubishi i-MiEV:



Mitsubishi ek Wagon



Mitsubishi i

Al igual que en el caso del Nissan Leaf, el modelo japonés también comparte línea de montaje con dos versiones homólogas de propulsión gasolina/diesel, en este caso el Mitsubishi ek Wagon y el modelo sobre el cual se fundamenta el modelo eléctrico, el Mitsubishi i. Las primeras versiones del modelo fueron ensambladas en la línea destinada a vehículos comerciales, pero dada la alta demanda se decidió trasladar la producción a una segunda línea con modelos más semejantes a él, como se ha detallado.



Instalación de baterías

En esta ocasión, vemos cómo el montaje de la batería se sigue realizando con la ayuda de un carro deslizante y en la parte inferior del vehículo, pero ahora esta operación se lleva a cabo después de la instalación del motor (Fahrwerk). Esto es debido a la existencia de tactos libres tras la estación de montaje del motor o bien por motivos de estrategia interna de montaje.



Chevrolet Volt / Opel Ampera:

Este caso es interesante ya que, a diferencia de los anteriores, este modelo norteamericano se trata de un vehículo híbrido enchufable (PHEV), con lo que este modelo incorpora ambos sistemas de propulsión. Así, el modelo eléctrico atravesará toda la línea de montaje y en la totalidad de las etapas recibirá trabajo, ya sea en las dedicadas a los componentes electrónicos (motor, batería, electrónica de potencia) como en los tactos tradicionales donde se lleva a cabo la instalación de los elementos propios de un modelo de combustión interna/diesel (motor mecánico, depósito de combustible, bomba de gasolina).

Del mismo modo, como éste (más que ningún otro puramente eléctrico) comparte características comunes con los modelos de gasolina/diesel, se ensambla también siguiendo el modelo de montaje mixto, compartiendo línea de montaje con otros dos modelos similares en versión gasolina: el Cadillac DTS y el Buick Lucerne.



Cadillac DTS



Buick Lucerne

Por otro lado, cabe destacar que debido al gran tamaño y peculiar forma del pack de baterías que incorpora este modelo (pack de baterías en forma de T, a lo largo del túnel central y tras los asientos traseros), es necesaria una maquinaria específica para llevar a cabo tal operación.



Proceso de ensamblaje de la batería. Modelo de batería.

Tesla Roadster:

A modo de excepción, resulta interesante comparar el modelo de producción en masa mixto aplicado en los casos anteriores con el montaje mediante un proceso específico, fruto de la producción en series limitadas, que se lleva a cabo en el ensamblaje del Tesla Roadster.

Efectivamente, el montaje de este modelo es un proceso manual, llevado a cabo en las instalaciones que la compañía norteamericana tiene en Palo Alto, California. Realmente, a sus instalaciones llega el modelo ya totalmente ensamblado desde la factoría británica Lotus, a excepción del sistema de propulsión. Así, la carrocería con todos los elementos exteriores e interiores, junto con la mayor parte de la mecánica simple del automóvil llega ya preparada a la factoría de tesla, donde el personal altamente cualificado se encargará de la instalación de los componentes electrónicos.



Etapas de montaje del Tesla Roadster

Realmente, dada la gran similitud que este modelo tiene con el modelo británico Lotus Elise, es posible llevar a cabo la operación de montaje detallada (en la que el vehículo llega prácticamente ensamblado, con la excepción de los componentes electrónicos).



(Imagen del modelo Lotus Elise, sobre el que se fundamenta el Tesla Roadster)

Este tipo de ensamblaje “a mano” responde a la producción en series muy limitadas, generalmente (como en este caso) de vehículos de alta gama cuyo mercado es reducido (de hecho, desde su lanzamiento al mercado en 2009, se han fabricado un total de 1000 unidades).



3.2.7 Cualificación y formación

Como hemos comprobado, en el proceso de montaje el cambio es muy pronunciado en las etapas o tectos donde se ensamblan los nuevos componentes eléctricos. Además, estos componentes conllevan un peligro añadido: dada la carga eléctrica que albergan, un mal uso de los mismos puede dar lugar a peligrosos accidentes de graves consecuencias. Por todo ello, es necesaria una formación minuciosa por parte del personal implicado, para un correcto manejo de estos sensibles componentes.

Así, con la llegada de los vehículos eléctricos, se impartirán cursos de seguridad eléctrica, así como una serie de conductas en caso de accidente. Además, se proveerá al personal implicado los accesorios adecuados para una correcta y segura actividad laboral.

Este plan de formación también debe de aplicarse a los proveedores (JIT) de la fábrica, ya que (especialmente aquellos que suministran los componentes citados) deben prestar especial atención al transporte y suministro de este tipo de piezas.

Por otro lado, anteriormente nos hemos referido al proceso conocido como revisión final o retrabajo. Como se explicaba, este proceso tiene lugar después del proceso de montaje, para reparar pequeños errores o imperfecciones que el producto final pudiera presentar. En este caso, el personal implicado en este proceso debe recibir una formación muy intensa y especial, pues están expuestos a comprobar posibles fallos de conexión entre elementos electrónicos que pueden causar accidentes con consecuencias funestas.

Por último, con el objetivo de prestar al cliente el mejor servicio de post-venta, alguna de las principales compañías de automóviles ha comenzado ya la cualificación de sus propios servicios de reparación de este tipo de vehículos en caso de avería. Es el caso de la firma japonesa Nissan, que ya ha establecido relaciones con su filial en el Reino Unido para la instalación de un curso de reparación de automóviles eléctricos.



3.2.8 Logística

Obviamente, la introducción de nuevos elementos en el vehículo supone un enorme cambio tanto a nivel externo (es necesario establecer relaciones con las nuevas empresas productoras de dichos elementos) como interno (requiere una nueva distribución del espacio logístico a lo largo de la línea de montaje). Así, con la llegada de la tecnología del coche eléctrico podemos observar los siguientes cambios.

Logística a nivel externo. Proveedores de componentes electrónicos.

La aparición de estos nuevos componentes electrónicos ha supuesto la incorporación de nuevas empresas tecnológicas en el mapa de proveedores actual. Estos componentes incorporan una tecnología tan reciente y puntera que generalmente estos proveedores corresponden a las principales compañías tecnológicas especializadas en componentes electrónicos. Hoy en día, el foco del desarrollo tecnológico en esta materia, con prácticamente la totalidad de las empresas de este tipo, está situado en la zona de extremo oriente, siendo Japón, Corea y la parte oriental de China los lugares que más compañías de este tipo albergan.

Nuevos proveedores



Situación de las principales empresas tecnológicas



Esta situación supone un gran problema para los fabricantes de automóviles europeos y americanos, ya que el coste de transporte de estos componentes encarecen aún más el ya de por sí elevado precio de los modelos eléctricos. Por ello, las principales compañías automovilísticas se han apresurado a establecer relaciones de colaboración con estas compañías tecnológicas, de forma que la investigación y desarrollo siguen siendo llevados a cabo en la zona de extremo oriente pero posteriormente esas técnicas son aplicadas en las factorías ya instaladas en Europa o América. De este modo, se posibilita la fabricación de motores eléctricos y sistemas de electrónica de potencia en factorías mucho más cercanas a las plantas de ensamblaje final, con el ahorro del coste de transporte correspondiente.

Un tema más delicado es el correspondiente a las baterías. Como su fabricación está íntimamente ligada con el desarrollo de la tecnología, es necesario que las celdas de batería se fabriquen próximas a los centros tecnológicos donde se diseñan. Así, las celdas se fabrican en países como Corea o Japón para después ser enviadas a los países europeos o americanos donde serán ensambladas formando los packs de baterías que más tarde se montarán en los modelos eléctricos. Este transporte tan largo supone no sólo un coste elevado (a día de hoy, inevitable, por las razones expuestas), sino una peligrosidad implícita (las celdas de baterías son muy sensibles y pueden causar accidentes por la carga eléctrica que almacenan) así como una posible degradación de las mismas, llegando incluso a reducir sus propiedades si el período de tiempo entre el ensamblaje de las mismas y su puesta en funcionamiento es muy largo.

Para este problema, la estrategia de las compañías, tal y como se ha explicado en capítulos anteriores, consiste en ensamblar únicamente la estructura de las celdas de baterías, sin añadir el líquido electrolito que permite la circulación de carga eléctrica entre los electrodos. De este modo, se evitan los problemas relacionados con la seguridad y con la merma de propiedades eléctricas de las baterías.

Este líquido electrolito es incorporado en las plantas de ensamblaje de baterías, ya situadas en Europa o América, cerca de las plantas de producción del vehículo. De hecho, el principal objetivo de los fabricantes de automóviles es situar estas fábricas de ensamblaje de baterías lo más próximas posible a los centros de producción, para evitar los problemas citados.



Así, en los siguientes ejemplos podemos comprobar cómo tanto las factorías de baterías como del resto de componentes electrónicos tienden a instalarse lo más cerca posible de las plantas de producción de automóviles:

Nissan Leaf:



Localización de las factorías de Nissan

Como la planta de producción del modelo Nissan Leaf se encuentra en la localidad japonesa de Oppama y los centros tecnológicos de desarrollo de baterías asociados (AESC) a la compañía se encuentran en el mismo país, en este caso la situación no supone ningún problema. Aun así, vemos como las plantas de producción de componentes electrónicos se encuentran realmente cerca de la planta de producción final.

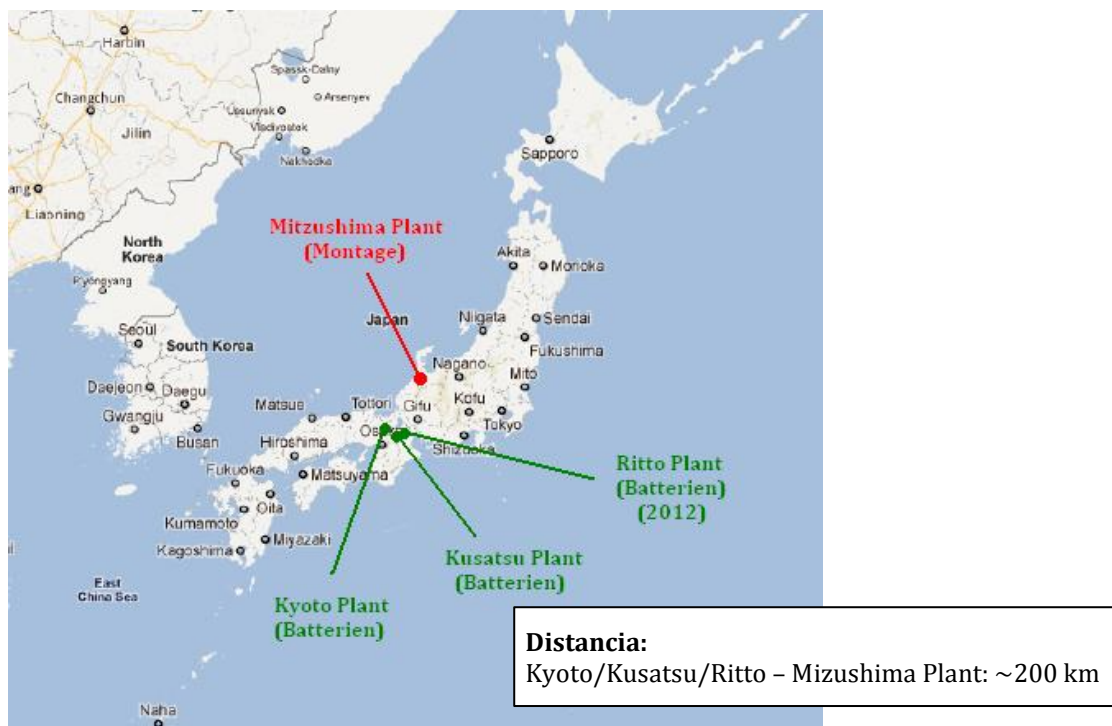
No obstante, viendo la alta demanda del modelo, Nissan tiene prevista la apertura de nuevas plantas de producción en EEUU y Reino Unido. Para subsanar el problema de las



baterías, estas nuevas plantas incorporarán una sección de la misma destinada al ensamblaje “in situ” de los packs de baterías.

Mitsubishi i-MiEV:

Al igual que en el caso del modelo de Nissan, como la producción del Mitsubishi i-MiEV se lleva a cabo en la factoría japonesa de Mizushima, el transporte de los componentes electrónicos (llevados a cabo en las instalaciones de la compañía tecnológica GS Yuasa, también en Japón) no supone problemas de coste ni seguridad.

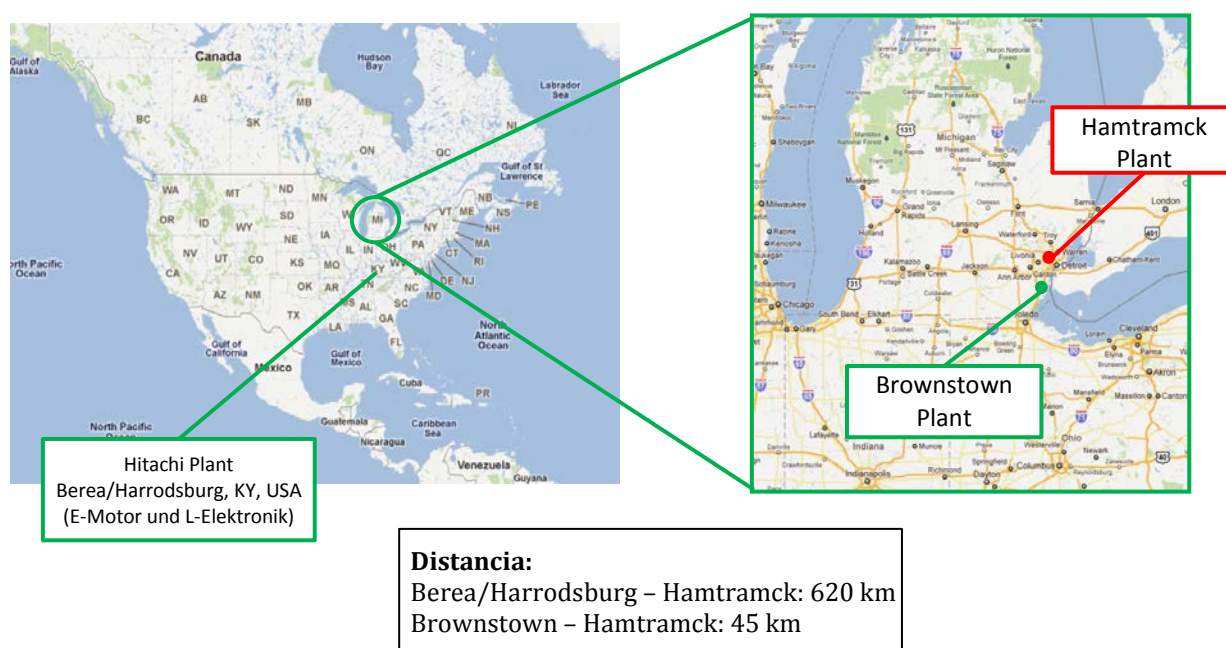


Localización de las factorías de Mitsubishi



Chevrolet Volt / Opel Ampera:

En América, del mismo modo que en Europa, la situación es diferente. Así como la fabricación del motor eléctrico y el sistema de electrónica de potencia sí que se lleva a cabo en el propio país de EEUU (mediante acuerdos con su compañía electrónica asociada, en este caso Hitachi), el ensamblaje de baterías se lleva a cabo tal y como se ha explicado, recibiendo las celdas desde Corea (LG Chem) y ensamblándolas en packs de baterías posteriormente en las cercanías de la planta de producción.



Localización de las factorías de General Motors

Tesla Roadster:

En el peculiar caso de este deportivo (fabricación manual, series limitadas), el desarrollo de la tecnología electrónica se lleva a cabo en el mismo centro de investigación de la marca norteamericana, situada muy cerca de la planta de producción del modelo. Así, todos los componentes electrónicos son transportados desde el centro de investigación a la planta de montaje para ser ensamblados:



Localización de las factorías de Tesla

Renault Fluence Z.E. / Kangoo Z.E. / Twizy Z.E. / Zoe Z.E.



Fluence Z.E.



Kangoo Z.E.



Twizy Z.E.

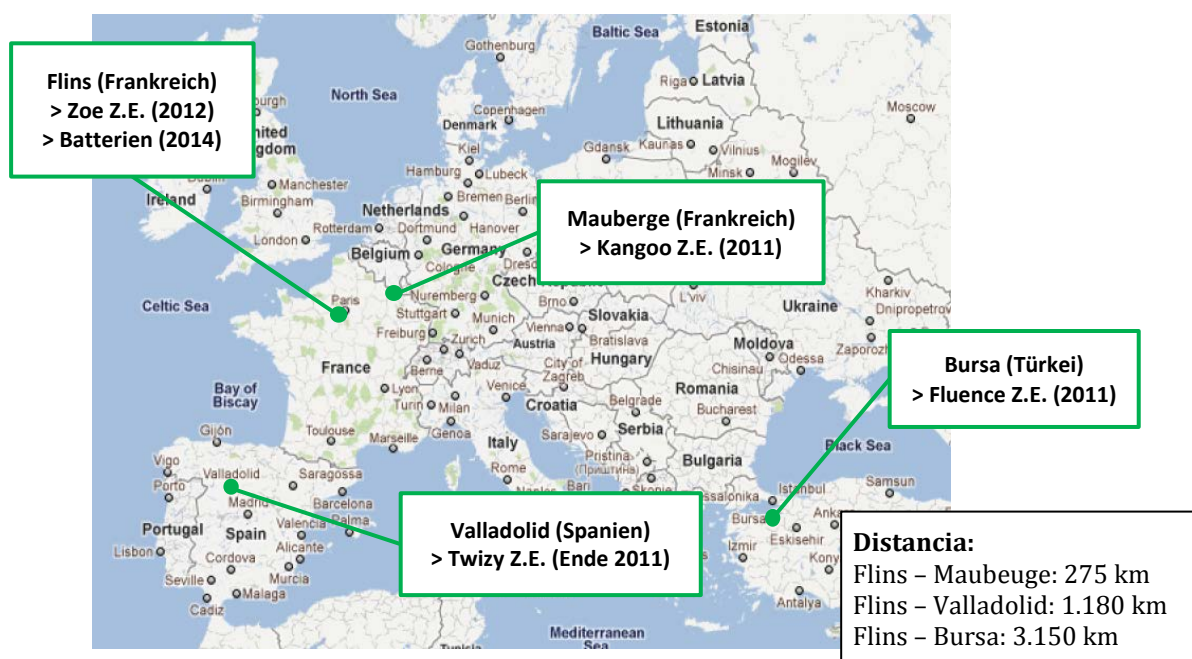


Zoe Z.E.

La marca francesa Renault tiene previsto el lanzamiento de cuatro modelos eléctricos puros en los próximos años. Son sede en Flins, Francia, la idea de la marca es fabricar la primera generación de estos vehículos en plantas situadas en Europa, con el mercado



automovilístico Europeo como objetivo. De este modo, en un intento de unificar proveedores y producción, el plan es el ensamblaje conjunto de las baterías de los cuatro modelos en la fábrica situada en Flins, para después distribuir los packs de baterías ya ensamblados a cada planta de producción.



Localización de las factorías de Renault

Vemos cómo en este caso las distancias son mucho mayores que en los modelos anteriores, pero este coste extra de transporte y seguridad se ve compensado por la unificación de la producción de baterías en la planta de Flins.

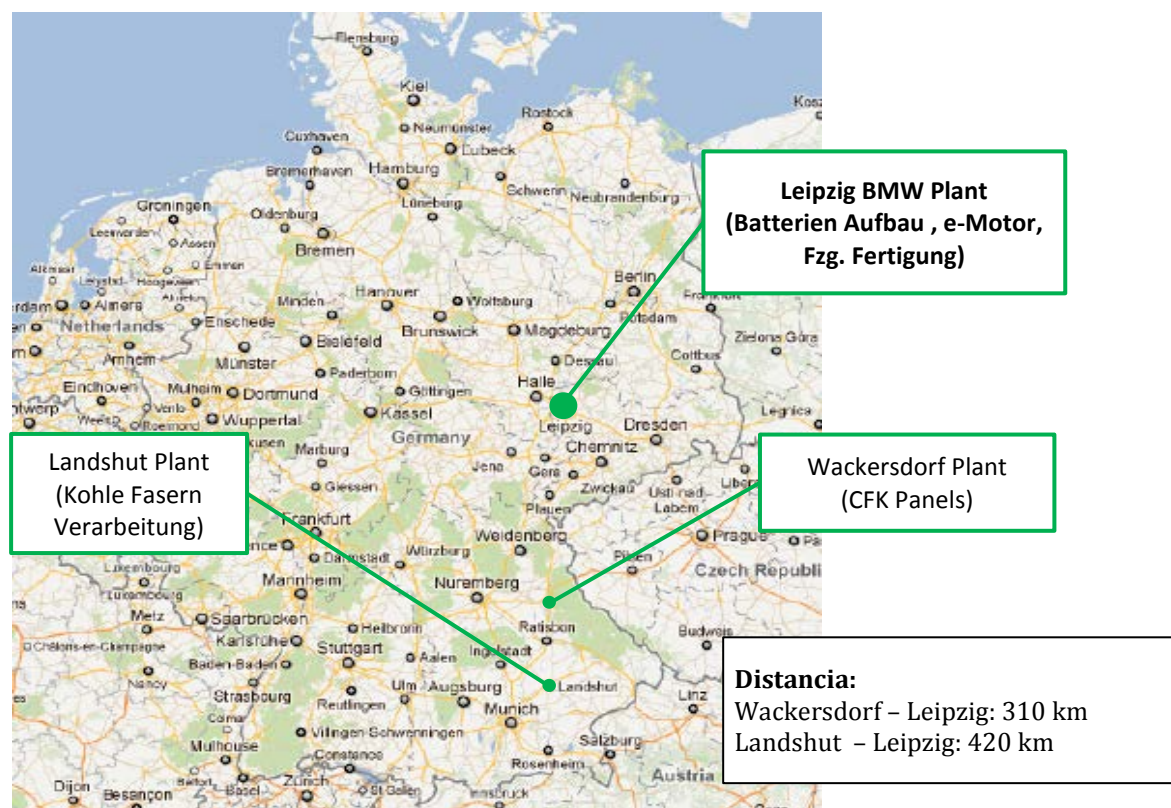
Al igual que la compañía japonesa Nissan (ambas forman el grupo automovilístico "l'Alliance"), recibe las celdas de montaje de la compañía AESC.

BMW i3

Como hemos comprobado, el desarrollo del modelo eléctrico de la compañía alemana es tal vez el más hermético y del que menos dato se dispone. Sin embargo, analizando las



relaciones con otras compañías tecnológicas y la localización de las plantas de las mismas, se puede adivinar la situación de producción del modelo:



Localización de las factorías de BMW

Como vemos, en este caso la planta de producción se sitúa en Leipzig, Alemania. Se presupone que esta nueva factoría, al igual que lo previsto en las futuras plantas de la marca Nissan, incorpore una sección donde se fabriquen los componentes electrónicos (motor y electrónica de potencia), para lo cual la compañía cuenta con la colaboración de Bosch y Samsung, y se ensamblen los packs de baterías con las celdas provenientes de la delegación japonesa de la alianza Johnson Controls – SAFT.

Destaca a su vez la presencia de factorías que se encargan del procesamiento y fabricación de piezas con el nuevo material CFRP, situadas en el mismo país alemán, que reciben las fibras de carbono de su compañía asociada americana SGL Carbon.



Logística a nivel interno. Disposición de los componentes en la nave de montaje.

La necesidad de almacenaje de los componentes electrónicos requiere de una nueva distribución de la logística interna de la fábrica. Como hemos visto, estos componentes provienen de factorías situadas a cierta distancia de la planta de producción, con lo que la implantación de los principios Just-in-time o Just-in-sequence se hace complicada.

No obstante, dada la pequeña previsión de producción de estos modelos junto a la distribución temporal de la misma (no se hacen todos los modelos eléctricos previstos seguidos, se van alternando con los modelos convencionales) hace que el espacio requerido por estos nuevos componentes sea pequeño.

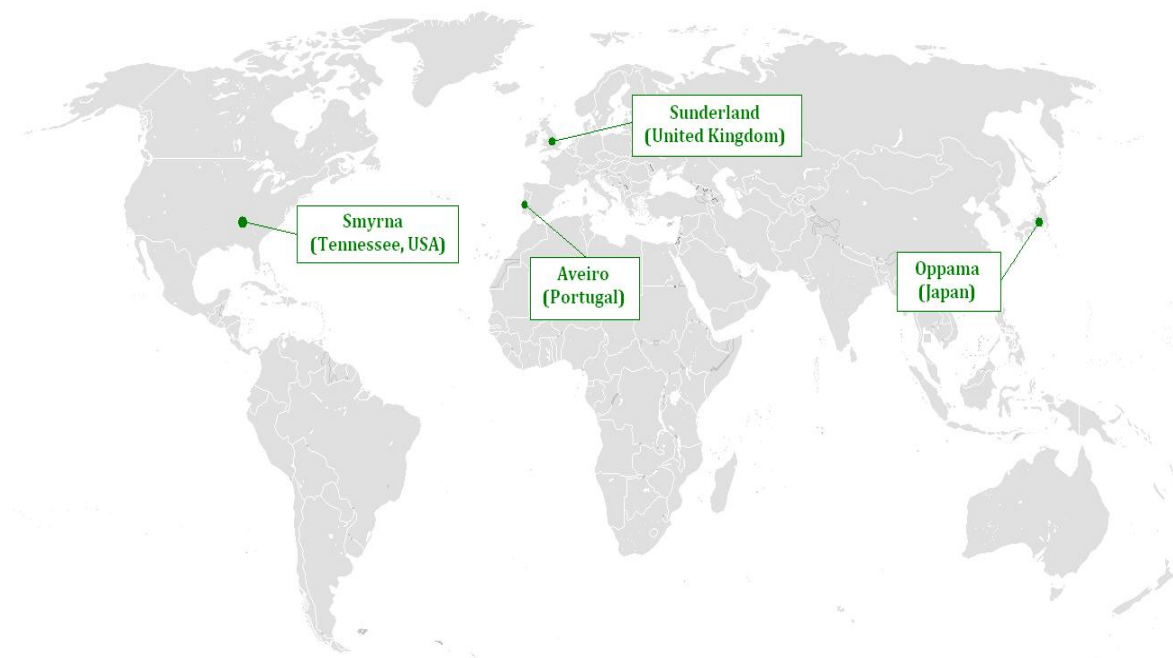
Obviamente, todos estos problemas son aplicables únicamente en el caso de montaje mixto. En el caso de diseño de propósito, en el que la construcción de una nueva planta de producción suele ser necesaria, la posibilidad de diseñar un sistema de distribución logística desde cero evita estos problemas.

3.2.9 Previsión de ventas. Niveles de producción.

La tecnología del coche eléctrico se encuentra actualmente en sus instantes iniciales. Por ello, no se disponen de datos mercantiles cruciales para la planificación de la producción de un vehículo (niveles de aceptación por parte del público, cifras de ventas, competencia, etc.). Por ello, determinar la producción de esta primera generación de modelos eléctricos básicamente se trata de un riesgo a asumir. Así, mientras algunas compañías han decidido introducirse en esta tecnología de forma precavida, con pequeñas series de producción, a la espera de la respuesta del mercado, otras han decidido apostar firmemente por esta tecnología, planificando series de producción grandes desde el lanzamiento del modelo. Por este motivo, resulta interesante analizar la estrategia seguida por cada fabricante y la previsión de ventas que asumen.



Nissan:



Futuras fábricas de Nissan

Factoría	Año	Tipo	Capacidad (Uds/Año)
Oppama (Japan)	2009	Montaje batería y vehículo	90,000 Baterías 50,000 Vehículos
Smyrna (TE, USA)	Fin 2012	Montaje batería y vehículo	200,000 Baterías 150,000 Vehículos
Sunderland (UK)	2013	Montaje batería y vehículo	60,000 Baterías 50,000 Vehículos
Aveiro (Portugal)	2012	Montaje baterías	50,000 Baterías

Como vemos, los planes de Nissan para los próximos años implican una alta producción de su modelo, Nissan Leaf, no solo en Japón sino también en las factorías que la compañía va a inaugurar en EEUU y Europa.

Como se puede apreciar, el número de baterías previstas es superior al de vehículos eléctricos; esto se debe a que esa sobreproducción servirá para proporcionar baterías a los modelos de la marca francesa Renault, hasta la apertura de la factoría de baterías de ésta última, prevista para 2012



Mitsubishi:

➤ Vehículos



i-MiEV



Minicab-MiEV

	Mizushima Plant
Jahr 2009	1.400 Uds. (i-MiEV)
Jahr 2010	8.500 Uds. (i-MiEV)
Jahr 2011	25.000 Uds. (i-MiEV y MiniCab-MiEV)

➤ Baterías



	Kusatsu Plant 1a línea	Kusatsu Plant 2a línea	Kyoto Plant	Ritto Plant
Nº baterías por año	2.300	4.500	11.000	50.000
SOP	Junio 2009	Junio 2010	Diciembre 2010	Abril 2012

Como vemos, las previsiones de producción de Mitsubishi son más conservadoras, en las que además están previstas las primeras unidades del nuevo modelo eléctrico que la marca ha lanzado recientemente (Mitsubishi Minicab-MiEV)

Renault:

Si hay una marca decidida por esta nueva tecnología, ésta es la compañía francesa Renault. Las cifras de producción de modelos eléctricos son muy superiores al resto, lo que demuestra la gran confianza que tiene esta compañía en una buena respuesta por parte del mercado.



Modelo	Unidades por año
Kangoo Z.E.	30.000 – 50.000
Fluence Z.E.	30.000 – 50.000
Twizy Z.E.	20.000
Zoe Z.E.	150.000 (a plena capacidad)

Debe remarcarse que esta confianza en ventas viene influida por el precio de adquisición al que saldrán estos modelos al mercado. Sorprende ver cómo los precios de los modelos de la marca francesa se asemejan mucho a los correspondientes a los vehículos convencionales (generalmente, el precio de los vehículos eléctricos es mucho mayor). Esto se debe a una estrategia que ha adoptado Renault, por la cual el cliente no adquiere la batería eléctrica en propiedad (a la postre, el componente más caro de todo el vehículo), sino que la adquiere en forma de alquiler, por lo que debe abonar mensualmente la cantidad estipulada en función del kilometraje realizado.

Por ello, Renault se permite reducir tanto los precios de compra, solucionando así uno de los principales problemas del coche eléctrico (su alto coste). No obstante habrá que esperar para conocer el nivel de aceptación por parte del público ante esta estrategia.

BMW:

Una vez más, el hermetismo por parte de la compañía alemana es absoluto. No obstante, dada la gran inversión que la compañía alemana ha realizado en su nueva factoría de Leipzig, se calcula que la producción anual inicial no será menor a 35.000 unidades, con un precio de venta aproximado de unos 40.000 euros. Aún así, habrá que esperar para conocer los detalles exactos del lanzamiento de este modelo, previsto para la segunda mitad del año 2013.



4. Conclusiones de la comparativa.

Este profundo análisis de los diferentes modelos eléctricos que, bien se encuentran ya en el mercado o bien lo harán en los próximos años, nos permite valorar la situación actual de la tecnología del coche eléctrico.

Ciertamente, el estallido de la crisis financiera mundial que actualmente se encuentra atravesando la sociedad ha dificultado la implantación de esta nueva tecnología, como lo demuestran las bajas cifras de ventas en comparación con los modelos convencionales.

No obstante, como hemos podido comprobar, prácticamente todos los fabricantes de automóviles de gran importancia están apostando fuertemente por esta técnica, existiendo a día de hoy cientos de proyectos futuros en estado de investigación y desarrollo. De hecho, para este análisis se recopiló información de más de 100 modelos eléctricos diferentes, lo que demuestra la gran presencia de estos vehículos en el mercado futuro.

En cuanto al objetivo del proyecto, hemos podido comprobar cómo va a influir la llegada de este modelo de vehículo en el proceso productivo de las grandes compañías automovilísticas. Ciertamente, la gran complejidad de los cambios nos permite hablar de una verdadera revolución en el sector.

Así, tan solo queda esperar y ver cómo van evolucionando las nuevas técnicas y sobre todo cómo responde el público ante la llegada masiva de estos vehículos. Sólo así se podrá valorar si las estrategias seguidas por cada fabricante son las correctas, o si realmente deberían haber optado por una línea de actuación diferente.



5. Valoración personal. Cierre del Proyecto Fin de Carrera.

A título personal, la realización del Proyecto Final de Carrera en una empresa del prestigio del grupo Volkswagen ha supuesto una oportunidad única para completar mis estudios de ingeniería industrial. Ciertamente, la posibilidad de trabajar en un tema tan actual como es la tecnología del coche eléctrico supone para mí una verdadera satisfacción como ingeniero, a la vez que me ha permitido tener una visión más cercana del sector de la automoción.

Como ingeniero navarro y amante del mundo de la automoción, la posibilidad de realizar el PFC en una empresa que tanto significa para nuestra comunidad foral ha supuesto para mí un verdadero honor, y realmente mi dedicación e interés por el proyecto han sido totales.

A pesar de que se trata de un proyecto sobre una situación futura (en la compañía Volkswagen no se ha iniciado todavía la producción de vehículos eléctricos), el análisis exhaustivo realizado sobre los modelos ya existentes en el mercado, así como la información recopilada sobre los modelos que llegarán en los próximos años me ha permitido construir una imagen global de la situación actual de la tecnología del coche eléctrico. Resulta interesante comprobar las estrategias seguidas por cada fabricante de automóviles para hacer frente a esta nueva tecnología. Como ya he comentado, tan solo queda esperar, el tiempo dirá si realmente las medidas tomadas son las adecuadas.

Para concluir, me gustaría comentar que estos seis meses en el departamento de PMS-E de la empresa VW han hecho cambiar totalmente mi opinión hacia los coches eléctricos. He podido comprobar que esta tecnología es real, ya se encuentra entre nosotros, y en los próximos años va a ser una alternativa real a los vehículos convencionales. Ciertamente, todo parece indicar que es una tecnología con mucho futuro por delante.



6. Bibliografía

- „Ergebnisse Umfrage E-Mobilität“, *TÜV Rheinland*, September 2010
- www.volkswagenag.com/
- www.hybridcars.com/history/history-of-hybrid-vehicles.html
- inventors.about.com/od/estartinventions/a/History-Of-Electric-Vehicles.htm
- www.howstuffworks.com/
- en.wikipedia.org
- www.greencarcongress.com
- batteryuniversity.com/
- www.eco-aesc.com/
- www1.eere.energy.gov/
- „Electric Vehicle presentation“, Dr.ir. Johan Driesen
- „Impact of electric vehicles – Deliverable 1“, ICF International, Ecologic Institute, April 2011
- „The Automotive Body Manufacturing Systems and Processes“, *Mohammed A. Omar*
- Gran cantidad de documentos internos, informes de benchmarking, charlas, reuniones, apuntes... dentro de la empresa Volkswagen AG.